Liebe Leserinnen, liebe Leser!



Reinhard Breuer
Chefredakteur

Seit langem bringen wir in loser Folge Interviews oder Streitgespräche zu Themen, die uns wichtig erscheinen. Das angenehm Überraschende: Fast alle stoßen auf große Resonanz. Spitzenreiter bisher war ein Streitgespräch zu Wissenschaft und Religion im Juni letzten Jahres – mit mehreren hundert Leserbriefen und gut tausend E-Mails an unser Online-Forum.

Aber auch „Gene und Verhalten“ (4/01), „Das Ende des freien Willens?“ (2/01) oder „Robotik und Gehirn“ (10/00) fanden Ihr reges Interesse. Was mich daran besonders freut: Keines dieser Themen ist vordergründig „aktuell“. Offenbar bewegt uns Menschen am Beginn des 21. Jahrhunderts ebenso die hintergründige, immer währende Präsenz solcher Fragestellungen, in denen sich naturwissenschaftliches Weltbild und alltägliches Weltverständnis aneinander reiben.

Für dieses Heft haben wir zwei namhafte Experten eingeladen, über die „Wahrheit in der Wissenschaft“ zu diskutieren: den Astrophysiker Jürgen Ehlers sowie den Soziologen Rudolf Stichweh. Es enstand ein, wie ich finde, spannender Dialog, in dem sich auch die „Zwei Kulturen“ des C. P. Snow widerspiegeln. Der britische Schriftsteller hatte 1959 einen vielleicht unüberbrückbaren Gegensatz von Human- und Naturwissenschaft konstatiert. Er scheint heute aktueller denn je (Seite 70).



U. WINKLER, SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT

Jürgen Ehlers (M. l.) und Rudolf Stichweh (M. r.) mit Spektrum-Redakteuren

Der Wahrheitsanspruch der exakten Wissenschaften liefert ein wichtiges Argument dafür, dass der Steuerzahler die Grundlagenforschung weiter finanziert. Natürlich kann ein Laie nicht selbst prüfen, ob im Prozess der wissenschaftlichen Wahrheitssuche immer alles mit rechten Dingen zugeht – er ist letztlich, bei aller Information, oft auch auf einen Akt des Glaubens oder des Vertrauens angewiesen.

Der wird aber häufig gestört, zumal wenn Forscher zu Betrügern werden oder, etwa als Inhaber eigener Biotech-Firmen, ihre Neutralität verlieren. „Der alltägliche Expertenstreit in den Medien um die wahre Wahrheit ... gilt den Bürgern zu Recht als unwiderlegbarer Beweis, dass die Wahrheit verloren gegangen ist“, sagte Dieter Simon, Präsident der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, kürzlich auf einer Tagung zu Wissenschaft und Öffentlichkeit (*www.spektrum.de*, unter „Dritte Kultur“). „Neue Ergebnisse werden nicht mehr vorbehaltlos begrüßt, sondern argwöhnisch beäugt.“

Ein Schuss Skepsis sollte also auch sein. Zum „Gebot der Vertrauensunterstellung“ muss, wie es kürzlich hieß, das „Gebot des Zweifelns“ treten. Aber wo liegen die Grenzen – etwa zu Wundergläubigkeit oder Paranoia? Wir werden solchen Fragen in weiteren Interviews nachgehen.

Herzlich Ihr

Reinhard Breuer

INHALT

TITELBILD:

Stürmische Sonne: Einen gewaltigen Ausbruch heißer Plasmen beobachtete hier der Satellit SOHO im November 2000.

Foto: NASA/ESA, SOHO/LASCO Consortium



TITELTHEMA:

Das Wüten der Weltraumstürme

Seite 30

Von James L. Burch

Zuverlässig hält das Magnetfeld der Erde die gefährliche Strahlung aus dem Weltraum von uns fern. Doch mitunter speit die unruhige Sonne derart energiereiche Teilchenschwaden aus, dass der irdische Schutzschirm aufs heftigste durchgeschüttelt wird.

SCHMECKEN

Das Geheimnis des Geschmackssinns

Seite 38

Von David V. Smith und Robert F. Margolskee



Wie die Geschmackszellen verschiedene Substanzen erkennen, beginnt die Forschung erst jetzt zu verstehen. Auch über die Repräsentation einzelner Geschmacksqualitäten im Gehrin mehren sich nun die Erkenntnisse.



BRENNSTOFFZELLEN

Wasserstoff für‘s Handy

Seite 48

Von Felix Büchi

Wäre es nicht viel angenehmer, einen Laptop einfach aufzutanken, statt nach einer Steckdose zu fahnden? Brennstoffzellen bieten diesen Vorteil gegenüber Akkus, doch ihre Miniaturisierung zeigt einige Tücken.

DIGITALE KOMMUNIKATION

Die Cyber-Reisenden

Seite 52

Von Jaron Lanier

Dieses neuartige elektronische Medium erzeugt dreidimensionale Kopien weit entfernter Gesprächsteilnehmer. Durch Tele-Immersion gewinnen mehrere Dialogpartner den verblüffend echten Eindruck, in einem gemeinsamen Raum körperlich anwesend zu sein.

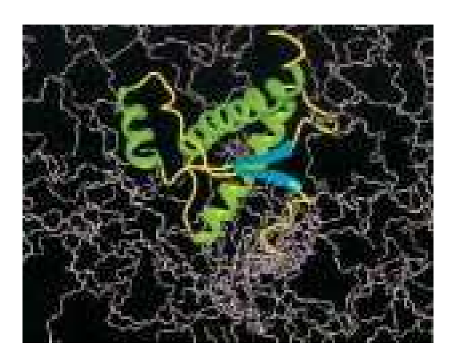
PRION-PROTEINE

BSE: Übertragung über Artgrenzen

Seite 62

Von Ralph Zahn

Warum kann BSE überhaupt auf den Menschen überspringen? Forscher suchen nach Antworten in den Prion-Proteinen selbst.



SPEKTRUM-INTERVIEW

Die Wahrheit in der Wissenschaft

Seite 70

Mit Jürgen Ehlers und Rudolf Stichweh

Gewinnen Naturforscher durch objektive Erkenntnisse ein immer vollständigeres Bild der Wirklichkeit – oder ist der Wahrheitsanspruch der Naturwissenschaft nur eine historisch wandelbare Übereinkunft? Mit Spektrum diskutierten der Astrophysiker Jürgen Ehlers und der Sozialwissenschaftler Rudolf Stichweh.



MODERNE ETHNOLOGIE

Die Pekingoper unter Mao

Seite 76

Von Barbara Mittler

Offenheit und Wandlungsfähigkeit charakterisieren die chinesische Oper seit ihrer Entstehung im 13. Jahrhundert. Das stellte sie auch in den dunklen Jahren der Kulturrevolution unter Beweis.

Technoskop

JPEG 2000: neuer Standard für schnelle Bilder

Seite 84

Seit Januar gibt es eine neue Form für die Bildkompression. Sie soll das bewährte JPEG-Format ablösen, muss sich aber auf dem Markt noch durchsetzen.

Außerdem:
- ➤ Umweltfreundlicher Bewuchsschutz für Schiffe
- ➤ Geregelte Stromabnehmer für den ICE

Technogramm:
Bioäpfel • Nanoelektroden • Robo-Bomber • LCD


vorher

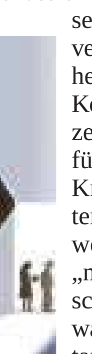

nachher

Alkohol – das unterschätzte Gift – April 2001

Objektive Darstellung gefordert

Einseitig erfolgt eine Konzentration auf die Droge Alkohol und die negativen Begleiterscheinungen ihres übermäßigen Konsums.

Untersuchungen, die einen Zusammenhang zwischen regelmäßigem, maßvollem Alkoholgenuss einerseits und seinen positiven gesundheitlichen Konsequenzen vor allem für das Herz-Kreislaufsystem belegen, werden als „nur eingeschränkt wahr“ abgetan. Sie werden als „schlecht abgesicherte Nebenergebnisse anderer Studien“ diskreditiert.


TH. BRAUN / SDW, QUELLE: S. TEYSSEN

Mit Blick auf die erwiesenen gesundheitlichen Vorzüge maßvollen und regelmäßigen Alkoholgenusses erwarten wir jedoch dieselbe Objektivität von kritischen Forschern und den Vertretern von Institutionen der Suchthilfe und -prävention. Dass es uns als Standesvertretung der betroffenen Wirtschaftskreise unangemessen erscheint, dass das Bier als alkoholärmstes und zugleich reinstes alkoholhaltiges Getränk stets herhalten muss, um den Problemkreis „Alkoholmissbrauch“ zu visualisieren, sei nur am Rande erwähnt.

Dr. L. Ebbertz, Bayerischer Brauerbund e.V., München

Pauschale Ablehnung

Schäden, die durch Alkoholabhängigkeit oder -missbrauch entstehen, sollten nicht verschwiegen oder bagatellisiert werden. Aber ich wehre mich gegen diese einseitige Betrachtung, im Grunde wird ja der Alkoholkonsum pauschal abgelehnt, mögliche positive Effekte beim Trinken geringer Mengen werden in Frage gestellt, nur ganz am Rande und auch nur in Stichworten erwähnt. Fazit dieser Arbeit scheint mir zu sein, dass auch geringer Alkoholkonsum mit der Zeit oft zu gewohnheitsmäßigem Trinken führen kann.

Die Augsburger MONIKA-Studie fand bei männlichen Teilnehmern die höchste Lebenserwartung, wenn diese täglich 20–40 g Alkohol zu sich nahmen. Hartes Kriterium heutiger Studien ist ja wohl das Überleben bzw. die Lebenserwartung.

Dr. Claus-E. Schwarz, Frankfurt/M.

Nur scheinbar beruhigend

Ich arbeite seit Jahren in der ambulanten Rehabilitation von Menschen, die an einem Abhängigkeitssyndrom leiden, und weiß in dem Zusammenhang realistische Informationen über das Schädigungspotenzial der Droge Alkohol zu schätzen – denn einer der Bausteine in der Erreichung einer längerfristigen Suchtmittelabstinenz ist die zu entwickelnde Fähigkeit der Rehabilitanden, das Suchtmittel als Gefahr zu erkennen. Deshalb möchte ich in Ihrem hervorragenden Artikel nur noch das Wort „scheinbar“ einfügen: „ ... dass Alkohol scheinbar beruhigt, die Stimmung aufhellt ...“. Es ist durch Experimente erwiesen, dass z. B. die subjektiv empfundene Muskelentspannung in Wirklichkeit eine Lähmung ist und die scheinbare Stimmungsaufhellung Merkmale eines pathologischen manischen Zustands hat. Durch solche Informationen motivieren sich Rehabilitanden dazu, die Idealisierung des Suchtmittels aufzugeben und sich die Mühe zu machen, Alternativen aufzufinden und zu nutzen.

Jutta Gryiger, Paderborn

Artikel war überfällig

Ein solcher Beitrag, der so umfassend und wohlausgewogen das Alkohol-Problem darstellt, war in dieser Zeitschrift, die ich seit Jahren lese, überfällig, zumal, da dort meiner Erinnerung nach auch schon einmal Alkohol etwas unkritischer dargestellt worden war. Ich hoffe, dass der Artikel eine entsprechende Resonanz findet.

Prof. W. Feuerlein, München

Kein Rat zu mäßigem Alkoholkonsum / Antwort der Autoren

Auch wenn es die Vertreter gewisser Interessengruppen ungern hören: Alkohol ist kein Medikament. Der Genuss von alkoholischen Getränken ist immer mit einem gewissen Risiko verbunden. Sich dieses Risikos bewusst zu sein und es auf eine wissenschaftliche rationale Grundlage zu stellen war das Ziel unserer Übersicht.

Hintergrund sind in den letzten Jahren sich häufende, einseitige, zum Teil zu unkritischem Alkoholkonsum animierende Berichte in den Medien und von der Alkoholindustrie über die eventuell gesundheitsfördernde Wirkung von regelmäßigem Weinkonsum, die nur positive Eigenschaften von Alkoholika suggerieren. Sie erlauben noch keine positiven Aussagen bezüglich der Volksgesundheit und dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass Alkohol nur auf das Herz-Kreislaufsystem wirkt.

Aufgabe der Politik und insbesondere auch der Ärzte ist es, auf falsche, verfrühte oder sozialmedizinisch fragwürdige Empfehlungen verantwortungsbewusst mit Sachlichkeit zu reagieren und aufzuklären. Die Bundesregierung hat vor Jahren ein Forschungsvorhaben zu „Alkoholkonsum und Krankheiten“ in Auftrag gegeben, welches 2000 in der Schriftenreihe des Bundesministeriums für Gesundheit publiziert wurde. Die Ergebnisse stehen in deutlichem Widerspruch zu den in den Medien genannten Aussagen: Alkoholkonsum trägt nicht zur Erhaltung der Gesundheit bei.

Vor allem sind Langzeitstudien erforderlich, die Trinkmuster/-verhalten, Abstinenzperioden während des moderaten Alkoholkonsums, gleichzeitig bestehenden Nikotinkonsum, „life style“-Faktoren, Ernährung und organische Begleiterkrankungen erfassen. Es reicht nicht mehr aus, die „Mortalität“ als einfachen, gut messbaren Zielparameter von Studien zu definieren, da diese Untersuchungen die durch Alkohol entstehenden Belastungen für die „Public Health“ nur unzureichend (!) erfassen.

Dass die „Morbidität inklusive Behinderungen“ und die indirekten negativen Effekte, die nur selten berücksichtigt werden, für die Beurteilung der Auswirkungen des Alkoholkonsums auf die „Public Health“ entscheidend sind, haben erste von der WHO initiierte und 1997 veröffentlichte Untersuchungen bewiesen. Sie haben gezeigt, dass Alkohol deutlich mehr Einfluss auf nicht-tödliche Krankheiten hat als auf die Mortalität.

Wenn man auch gesellschaftliche Reaktionen auf Alkoholkonsum und das Missbrauchsrisiko mit dem schleichenden Übergang von moderatem zu problematischem Trinkverhalten miteinbezieht, so sollten künftige Studien immer die Gesamtperspektive von Alkoholkonsum und seinen negativen wie positiven Folgen im Auge haben. Die aktuelle Datenlage kann keine gesicherten allgemeinen Empfehlungen zu moderatem Alkoholkonsum im Rahmen von „Public Health“-Maßnahmen erlauben. Im Gegenteil, sie verbieten sich aus medizinischer, wissenschaftlicher und nicht zuletzt aus ethischer Sicht.

Stephan Teyssen und Manfred V. Singer

Klimafühlige Knochen – Technoskop April 2001

Der Autor weist darauf hin, dass während des Kältemaximums die Rentiere seiner Probenserie (vorletzte und letzte Eiszeit) durchschnittlich kleiner als in wärmeren Perioden waren. Darin sieht er einen Widerspruch zur Bergmannschen Klimaregel, nach der warmblütige Tiere aufgrund ihres günstigeren Oberflächen-/Masse-Verhältnisses intraspezifisch in kälteren Gebieten größere Exemplare hervorbringen. Nun hat schon Scholander (1955/56) die Erklärung der Bergmannschen Reihen widerlegt.

Dass größere Tiere in kalten Klimaten bevorteilt sind, liegt allein daran, dass sie in der Lage sind, stärker isolierende Körperschichten (Körperschale, Fell plus Muskulatur etc.) auszubilden als kleinere. Die untersuchten Rentiere könnten also durchaus in der Lage gewesen sein, bei kompakter Körperstatur eine ausreichende Isolation zu entwickeln.

Prof. G. Hartmann, Goslar

Die wendige Katze – Physikalische Unterhaltungen Juni 2001

In den Grafiken wurden versehentlich lateinische Buchstaben anstelle der griechischen gedruckt. Statt f muss es ϕ heißen; entsprechend ist j durch φ zu ersetzen (J bleibt unverändert), w durch ω, W durch Ω und a durch α.

Red.

Handprothesen – Mai 2001

Bei der Druckangabe hat sich ein Fehler eingeschlichen. 1 bar = 10^5 Pa, entsprechend gilt: 5 bar = 5 x 10^5 Pa.

Ivo Gienal, Sargans

Falscher Autor

Durch ein redaktionelles Versehen erschien im Juni-Heft der Artikel „Genetischer Steckbrief eines Pflanzenschädlings“ auf Seite 12 mit falscher Autorenangabe. Er stammt nicht von den dort vermerkten Autoren, sondern wurde von der Biologin und Wissenschaftsjournalistin Friederike Bleckmann geschrieben. **Red.**

Gene und Verhalten – April 2001

Deterministisch oder stochastisch?

Es wundert mich, dass ausgerechnet Prof. Voland so darauf beharrt, dass für einen Biologen nur eine deterministische Erklärung zulässig sei. Dabei sind doch die Mechanismen der Evolution, die er zur Erklärung heranzieht, zutiefst stochastisch. Die Mutation als Grundlage für die Entstehung von Veränderungen ist ein reiner Zufallsprozess, und selbst die Selektion ist ein stochastischer Prozess der Auswahl unter Varianten mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit.

Die Frage, wie weit die Evolution (auch von Sozialverhalten) deterministisch oder durch Zufall bedingt ist, ist aber unabhängig davon, ob die Entwicklung eines Individuums (auch die seines Sozialverhaltens) deterministisch verläuft und durch was sie determiniert ist.

Andreas Heidenreich, Neu-Isenburg

Die steuernde Funktion

Kultur ist kein Leitfaktor, sie entsteht. Gene sind kein Leitfaktor, sie werden benutzt und können demnach nicht egoistisch sein. Durch ein Gen kann man zwar einen Menschen manipulieren, aber es kann niemals unter natürlichen Umständen eine steuernde Funktion haben. Die Kultur beeinflusst den Menschen, aber ein Individuum kann sie nicht vereinnahmen.

Es wird deutlich, dass die Wissenschaften den Bezug zum Leben verlieren, was komplexer nicht sein kann und sich keinem Determinismus unterordnet. Den Leitfaktor, welcher den Menschen formt, sich die Gene zu Hilfe nimmt und die Kultur zum Vorschein bringt, kann man nur verstehen, wenn man den eigentlichen Charakter des Lebens nicht außer Acht lässt. Die Wissenschaften werden sonst immer wieder auf Fragen stoßen, deren Antwort ihnen die Natur schuldig bleibt.

G. F. Rubisch, Gaienhofen

Entwicklung zur Gemeinschaftsfähigkeit

Die beiden Positionen sind im Prinzip stimmig; die Verbindung, die die Realität verständlicher macht, weil sie die entwicklungsfördernde Wechselwirkung zwischen Verhalten und Umwelt berücksichtigt, fehlt jedoch. Die genetische Erkenntnistheorie von Piaget beschreibt die sozial-kognitive und psychologische Entwicklung des Menschen von der Egozentrik der ersten Lebensjahre bis zur Fähigkeit der mehrfachen Perspektiveübernahme. Die Ausgangsbasis und das damit vorhandene Grundmuster der Egozentrik strukturieren die Fähigkeiten zur Aneignung der gegenständlichen und sozialen Realität. Der Prozess wird gesteuert durch die Umwelt. Ist die Steuerung so stark, dass die Denkschemata dauerhaft überfordert werden, kommt es zu den in der Psychologie bekannten Regressionen, d.h. zu einem Rückfall auf frühe egozentrische Verhaltensstandards. Ist der Einfluss der Kultur der entwicklungsbedingten Denkstruktur weitgehend angemessen, können sich das Individuum und die Gesellschaft zur Gemeinschaftsfähigkeit entwickeln.

Dr. Erika Butzmann, Wildeshausen

Selbstständige Instanz

Das Verhalten wird im Wesentlichen von der Ausbildung der Gehirnstruktur gesteuert. Diese ist weitgehend durch das Genom vorbestimmt, aber es bleibt noch Spielraum für epigenetische Einflüsse wie Erziehung, Vorbilder aus dem Umfeld usw. Zuerst erhält der Mensch Informationen (z.B. aus der Umwelt), danach wird ein bestimmtes Verhalten nahe gelegt.

Infolge des komplexen Zusammenwirkens aller Einflussfaktoren ergibt sich aber meist kein exakt definierter Weg, sondern es zeigen sich mehrere Varianten mit dem Charakter einer Wahrscheinlichkeitsverteilung ab. Manchmal mag der Mensch den Weg der maximalen Wahrscheinlichkeit wählen, ohne Beteiligung eines „Freien Willens“. Meistens führen die verschiedenen Möglichkeiten aber dazu, dass sie vom Menschen auf Grund seiner Wertvorstellungen verschieden bewertet werden, er muss also eine Auswahl treffen, entsprechend seinem Werturteil.

Wenn man annähme, dass auch dieses „automatisch“ auf Grund der vorhandenen Verarbeitungsmechanismen entsteht, würde man damit letzten Endes den Zufall als Entscheidungsinstanz anerkennen. Da aber im Allgemeinen die Entscheidung für sinnvoll gehalten wird, fällt es schwer, hier an einen reinen Zufall zu glauben. Muss man dann nicht doch den Freien Willen als selbstständige Entscheidungsinstanz, als „emergente Eigenschaft“ anerkennen?

Dr. J. Ickert, Hamburg


CHRISTOPH POPPE / SDW

Interviewpartner Voland und Eckensberger

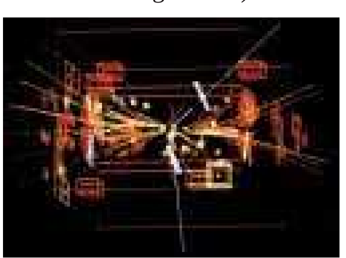
100 Jahre Quantentheorie – April 2001

Die wichtigsten Ereignisse fehlen

So schön der Beitrag über die Quantentheorie ist und so hübsch die Graphiken auf den Seiten 68 und 69 sind, die wichtigsten Ereignisse fehlen: Zum einen der erste Durchbruch in die imaginäre Welt der Quantenmechanik, der Werner Heisenberg 1925 auf Helgoland gelungen ist (und der zur Matrixmechanik ausgearbeitet werden konnte).

Es ist wesentlich für das Verständnis der Quantenphysik, dass es zwei äquivalente mathematische Fassungen der Atomtheorie gibt, denn die eigentliche Lektion der Atome – dies zum Zweiten – ist die Idee der Komplementarität, die Niels Bohr 1927 vorgestellt hat. Sie besagt in aller Kürze, dass sich jeder Beschreibung der Natur eine zweite gleichberechtigte an die Seite stellen lässt, die der ersten Beschreibung oberflächlich widerspricht. Das bekannteste Beispiel ist der Welle-Teilchen-Dualismus, der sich mathematisch in den beiden Darstellungen zeigt, die Heisenberg und Schrödinger (mit der berühmten Schrödinger-Gleichung) vorgelegt haben.

Prof. Ernst Peter Fischer, Konstanz



CERN

Entdeckung des Z-Teilchens 1983

Ungenauigkeit beim Vergleich mit der klassischen Physik

Das angegebene Beispiel mit der idealisierten Spielkarte entspricht dem invertierten Pendel (im Schwerefeld nach oben gerichtet). In diesem Fall sagt die klassische Mechanik keineswegs voraus, dass diese Karte bewegungslos verharren muss, wenn keine äußere Störung vorliegt. Vielmehr ist das nur eine von drei Lösungen der Bewegungsgleichung für diese Situation.

Die Bewegungskurve im Phasenraum trennt beim Pendel mit kreisförmiger Bewegung gerade die Lösungen ohne Überschlag (normales Pendeln) von denen mit endlos wiederholtem Überschlag (kreisförmige Bewegung mit periodischer Beschleunigung) und wird Separatrix genannt. Dieser Grenzfall ist am oberen Totpunkt – der Situation der angegebenen Karte – klassisch unbestimmt, d. h. die Karte kann in dieser Lage beliebig lange verweilen und jederzeit nach einer Richtung umfallen. In diesem Fall ist die Vorhersagbarkeit klassisch eher schlechter als quantenmechanisch, da in letzterem Fall eine eindeutige Lösung für die Wellenfunktion existiert.

Wolfram Wagner, St. Ingbert-Rohrbach

Leserbriefe zu „Hydraulische Bremsen“ – Mai 2001

Die Leserzuschriften zum Thema „Hydraulische Bremsen“ haben mir sehr missfallen. Es schmeckt nach Bildungsdünkel, wenn die Erklärungen zum Bremsvorgang als Vorschulstoff karikiert werden. Auch die andere Stellungnahme klingt besserwisserisch.

Ich kann mir durchaus erklären, dass der Unterdruck durch das Ansaugrohr hergestellt wird, das auf der Zeichnung zu sehen ist. Manche Leser empfinden es offenbar als Entweihung ihres Wissenstempels, wenn sich „Spektrum“ der Physik des Alltags zuwendet. Ich möchte mich für diese Rubrik ausdrücklich bedanken.

Hans Reinhard Rapp, Hermannsburg

Briefe an die Redaktion ...

... richten Sie bitte mit Ihrer vollständigen Adresse an:

Spektrum der Wissenschaft
Ursula Wessels,
Postfach 104840,
69038 Heidelberg

E-Mail: wessels@spektrum.com
Fax: (0 62 21) 504-716

Der Testbrief

Wissenschaft im Alltag – Mai 2001

Wir, die Peiseler GmbH in Olching, stellen Postlaufzeitgeräte für die Briefüberwachung her und weisen darauf hin, dass die Angaben über die erzielten Werte und das Verfahren unter Einsatz unserer Geräte ermittelt wurden.

Peiseler GmbH, Olching

Zwölf Zylinder und eine Thermosflasche

Technoskop – Mai 2001

Auf Nachfrage unserer Leser erkundigten wir uns nach den Preisen für flüssigen Wasserstoff. Ein Liter kostet am Flughafen München 1,10 DM, dies entspricht etwa 3,50 DM benzinäquivalent. Man muss aber berücksichtigen, dass der Wasserstoff heute noch in relativ kleinen Mengen hergestellt und verkauft wird.

Red.

Spektrum DER WISSENSCHAFT

Chefredakteur: Dr. habil. Reinhard Breuer (v.i.S.d.P.)
Stellvertretende Chefredakteure: Dr. Inge Hoefer (Sonderhefte), Dr. Gerhard Trageser
Redaktion: Dr. Klaus-Dieter Linsmeier, Dr. Christoph Pöppe (Online Coordinator), Dr. Uwe Reichert, Dr. Adelheid Stahnke; E-Mail: redaktion@spektrum.com
Ständiger Mitarbeiter: Dr. Michael Springer
Schlussredaktion: Katharina Werle
Bildredaktion: Alice Krüßmann
Layout: Sibylle Franz, Natalie Schäfer (stv. Herstellerin), Karsten Kramarczik (Artwork Coordinator), Andreas Merkert
Redaktionsassistenz: Cornelia Schenck, Ursula Wessels
Redaktionsanschrift: Postfach 104840, 69038 Heidelberg Tel. (0 62 21) 504-711, Fax (0 62 21) 504-716
Büro Bonn: G. Hartmut Altenmüller, Tel. (0 22 44) 43 03, Fax (0 22 44) 63 83, E-Mail: ghalt@aol.com
Korrespondenten: Dieter Beste, Marion Kälke, Tel. (02 11) 908 3357, Fax (02 11) 908 33 58, E-Mail: Dieter.Beste@t-online.de
Herstellung: Klaus Mohr, Tel. (0 62 21) 504-730
Marketing und Vertrieb: Annette Baumbusch, Anke Walter, Tel. (0 62 21) 504-741/744; E-Mail: marketing@spektrum.com
Übersetzer: An diesem Heft wirkten mit: Daniel Fischer, Dr. Kai Kumpf, Matthias Weiß
Verlag: Spektrum der Wissenschaft, Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 104840, 69038 Heidelberg; Hausanschrift: Vangerowstraße 20, 69115 Heidelberg, Tel. (0 62 21) 504-60, Fax (0 62 21) 504-751
Geschäftsleitung: Dean Sanderson, Markus Bossle
Leser-Service: Marianne Blume, Tel. (0 62 21) 504-743, E-Mail: marketing@spektrum.com
Vertrieb und Abonnementverwaltung: Spektrum der Wissenschaft Boschstraße 12, 69469 Weinheim, Tel. (0 62 01) 60 61 50, Fax (0 62 01) 60 61 94
Bezugspreise: Einzelheft DM 12,90/sfr 12,90/öS 98,–; im Abonnement DM 142,20 für 12 Hefte; für Studenten (gegen Studiennachweis) DM 123,60. Die Preise beinhalten DM 10,80 Versandkosten. Bei Versand ins Ausland fallen DM 10,20 Porto-Mehrkosten an. Zahlung sofort nach Rechnungserhalt. Konten: Deutsche Bank, Weinheim, 58 36 43 202 (BLZ 670 700 10); Postbank Karlsruhe 13 34 72 759 (BLZ 660 100 75)
Anzeigen: GWP media-marketing, Verlagsgruppe Handelsblatt GmbH; Bereichsleitung: Andreas Formen; Anzeigenleitung: Holger Grossmann, Tel. (06221) 504-748, Fax -758; Verkaufsberatung: Sabine Ebert, Tel. (06221) 504-749, Fax -758; verantwortlich für Anzeigen: Gabriele Reichard, Kasernenstraße 67, Postfach 10 26 63, 40017 Düsseldorf, Tel. (02 11) 887-2341/93, Fax (02 11) 37 49 55
Anzeigenvertretung: Berlin-West: Rainer W. Stengel, Lebuser Str. 13, 10243 Berlin, Tel. (0 30) 7 74 45 16, Fax (0 30) 7 74 66 75; Berlin-Ost: Gunter-E. Hackemesser, Friedrichstraße 150–152, 10117 Berlin, Tel. (030) 6 16 86-150, Fax (0 30) 6 15 90 05, Telex 114810; Hamburg: Michael Scheible, Stefan Irmler, Burchardstraße 17, 20095 Hamburg, Tel. (0 40) 30 18 31 84, Fax (0 40) 33 90 90; Hannover: Egon F. Naber, Sextrostraße 3-5, 30169 Hannover, Tel. (05 11) 9 88 47 14, Fax (05 11) 8 09 11 23; Düsseldorf: Cornelia Koch, Klaus-P. Barth, Werner Beyer, Herbert Piehl, Kasernenstraße 67, 40213 Düsseldorf, Postfach 10 26 63, 40017 Düsseldorf, Tel. (02 11) 3 01 35-20 50, Fax (02 11) 1 33 97 4; Frankfurt: Anette Kullmann, Dirk Schaeffer, Markus Horn, Holger Schlitter, Große Eschenheimer Straße 16-18, 60313 Frankfurt am Main, Tel. (0 69) 92 01 92 82, Fax (0 69) 92 01 92 82; Stuttgart: Erwin H. Schäfer, Norbert Niederhof, Königstraße 20, 70173 Stuttgart, Tel. (0711) 22 475 40, Fax (07 11) 22 475 49; München: Michael Albrecht, Reinold Kassel, Karl-Heinz Pfund, Josephspitalstraße 15, 80331 München, Tel. (0 89) 54 59 07-12, Fax (0 89) 54 59 07-16
Druckunterlagen an: GWP-Anzeigen, Vermerk: Spektrum der Wissenschaft, Kasernenstraße 67, 40213 Düsseldorf, Tel. (02 11) 8 87-23 84, Fax (02 11) 37 49 55
Anzeigenpreise: Zur Zeit gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 22 vom 1. Januar 2001.

Gesamtherstellung: VOD – Vereinigte Offsetdruckereien GmbH, D-69214 Eppelheim

ISSN 0170-2971

Ein Teil unserer Auflage enthält Beilagen von vnu business publication, München. Wir bitten unsere Leser um Beachtung.

SCIENTIFIC AMERICAN
415 Madison Avenue, New York, NY 10017-1111
Editor in Chief: John Rennie, Publisher: Denise Anderman, Associate Publishers: William Sherman (Production), Lorraine Leib Terlecki (Circulation), Chairman: Rolf Grisebach, President and Chief Executive Officer: Gretchen Teichgraeber, Vice President: Frances Newburg

PALÄANTHROPOLOGIE

Neues Gesicht in der Ahnengalerie des Menschen

Eine ungewöhnliche Kombination „primitiver“ und „fortschrittlicher“ Merkmale zeichnet einen neu entdeckten Zeitgenossen von Lucy aus. War er unser aller Urahn?

Von Michael Scholz

Während der letzten zwei Jahrzehnte haben sich die wissenschaftlich anerkannten Hominidenarten, welche dem Stammbaum des Menschen zugeordnet werden, fast verdoppelt. Dabei schien sich ein relativ klar strukturiertes Bild unserer Evolutionsgeschichte abzuzeichnen. Es zeigte eine Einteilung der frühen menschlichen Vorfahren in drei Hauptgruppen: *Australopithecus, Paranthropus* (ein Sammelbegriff für die grobschlächtigeren Australopithecinen-Verwandten *robustus*, *boisei* und *aethiopicus)* und natürlich *Homo*, die Gattung, deren einzig heute noch lebender Vertreter wir selbst sind.

Paranthropus und *Homo* sollten sich vor etwa zwei bis drei Millionen Jahren aus einem frühen Vertreter der Gattung *Australopithecus*, wahrscheinlich *A. afarensis*, entwickelt haben. Der bekannteste und gleichzeitig namengebende Fossilfund dieser Spezies ist das etwa 3,2 Millionen Jahre alte, zu rund einem Viertel erhaltene Skelett von *Lucy*, das Donald Johanson und sein Team 1974 in Äthiopien gefunden haben. Aber in jüngster Zeit kam immer wieder Bewegung in die Diskussion, wenn es darum ging, neue Fossilfunde früher Hominiden sinnvoll in unseren Stammbaum einzuordnen.

Bewegung im menschlichen Stammbaum

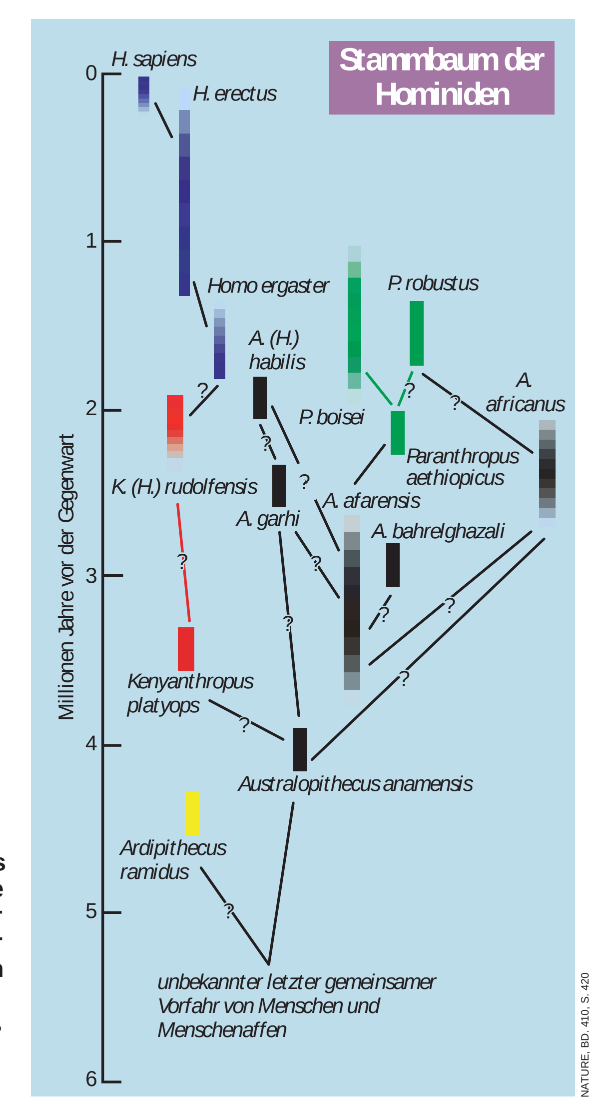
In den neunziger Jahren machte die Entdeckung weiterer Australopithecinen-Spezies (*anamensis*, *garhi* und *bahrelghazali)* in Nord- und Ostafrika deutlich, dass diese Gattung vor etwa zwei bis vier Millionen Jahren offenbar weitaus artenreicher war als bis dahin angenommen. Auch die erwähnte Dreiteilung ließ sich nicht mehr halten. Vor etwa 4,4 Millionen Jahren, als die Hominiden sich noch nicht allzu weit von ihrem gemeinsamen Vorfahren mit den afrikanischen Menschenaffen entfernt hatten, durchstreifte ein rätselhafter Vormensch das heutige Äthiopien. Nachdem man sein fast vollständig erhaltenes Skelett anfangs den Australopithecinen zugeordnet hatte, ließ eine gründlichere Auswertung dies nicht mehr vertretbar erscheinen. So avancierte der Fund 1995 zum Prototyp einer neuen Gattung namens *Ardipithecus*.

Anfang dieses Jahres schließlich fand ein französisches Forscherteam in Kenia etwa sechs Millionen Jahre alte fossile Knochen, die sie einem affenähnlichen Wesen namens *Orrorin tugenensis* zuschrieben. Ob es sich dabei um den ältesten bekannten Hominiden handelt, ist allerdings umstritten.

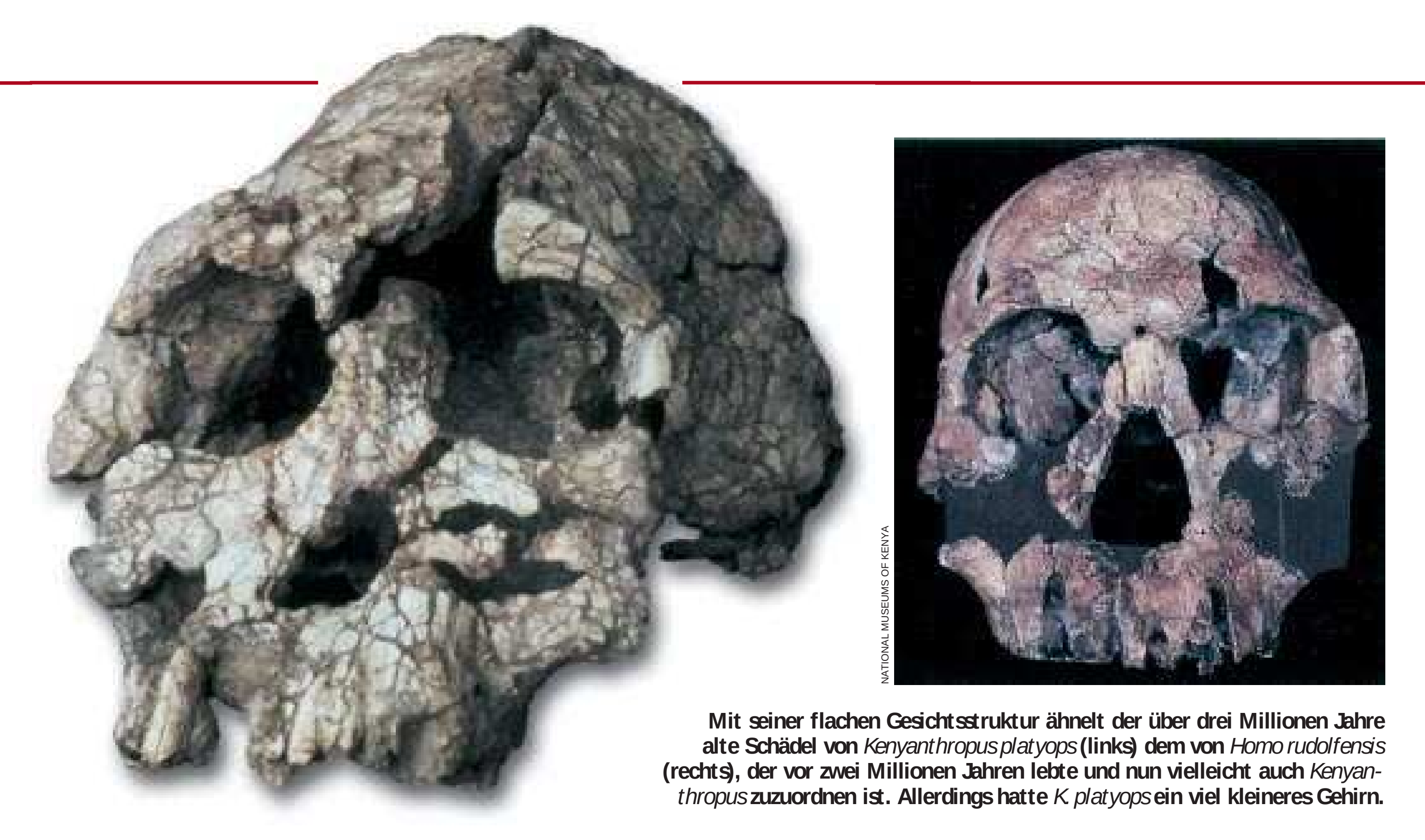
Nun scheint erneut eine Revision fällig – diesmal am jüngeren Ende unserer Ahnengalerie. Anlass hierfür ist ein neuer Hominidenfund aus Ostafrika, den Meave Leakey und Kollegen kürzlich vorstellten (*Nature, Bd. 410, S. 433*). Er könnte nach Ansicht seiner Entdecker unser direkter Vorfahre sein und damit *A. afarensis* auf einen Nebenast des menschlichen Stammbaums verbannen.

Wer aber ist der „Neue“ nun genau, dessen vollständiger wissenschaftlicher Name *Kenyanthropus platyops* ihn als „flachgesichtigen Mann aus Kenia“ ausweist? Schon vor drei Jahren wurden Fossilien dieses Hominiden am Westufer des Turkana-Sees in Kenia entdeckt. Der namengebende Fund (KNM-WT 40 000) ist ein fast vollständiger Schädel ohne Unterkiefer. Er stammt aus 3,2 bis 3,5 Millionen Jahre alten Schichten und zeichnet sich durch eine einzigartige Kombination morphologischer Merkmale aus.

So teilt *Kenyanthropus* viele „primitive“ Eigenschaften mit Vertretern der Gattung *Australopithecus* wie *A. anamensis* und *A. afarensis*. Dazu gehören unter anderem eine kleine Ohröffnung, Backenzähne mit relativ dickem Zahnschmelz und ein vergleichsweise kleines Gehirnvolumen. Zugleich aber verblüfft der Gesichtsschädel mit „fortschrittlicheren“ Merkmalen. Insbesondere verleiht ihm ein flach ausgezogener Bereich unterhalb der Nasenöffnung eine insgesamt flache Struktur. Da die Jochbogenfortsätze des Oberkiefers weiter vorn ansetzen, erscheint die Wangenregion schmaler und stärker vertikal orientiert als etwa bei *A. afarensis*. Von *A. garhi* unterscheidet sich *K. platyops* durch die deutlich kleineren Backenzähne (Prämolare und Molare) sowie den schwächeren



Nach dieser hypothetischen Version des menschlichen Stammbaums könnte der neu entdeckte *Kenyanthropus platyops* der Vorläufer von *K.* (früher *Homo*) *rudolfensis* und ein direkter Ahne des Menschen gewesen sein.



Mit seiner flachen Gesichtsstruktur ähnelt der über drei Millionen Jahre alte Schädel von *Kenyanthropus platyops* (links) dem von *Homo rudolfensis* (rechts), der vor zwei Millionen Jahren lebte und nun vielleicht auch *Kenyanthropus* zuzuordnen ist. Allerdings hatte *K. platyops* ein viel kleineres Gehirn.

Überaugenwulst. Andererseits gibt es morphologische Gemeinsamkeiten zu *Paranthropus* – so die dreiwurzeligen oberen Prämolaren. Aber am bemerkenswertesten ist sicherlich die auffallende Ähnlichkeit zu jenem berühmten zwei Millionen Jahre alten Schädel, welchen Meave Leakeys Ehemann Richard 1970 am Ostufer des Turkana-Sees fand und der heute unter der Bezeichnung *Homo rudolfensis* geführt wird (Bild oben).

Die ungewöhnliche Kombination von eher primitiven mit fortschrittlicheren Merkmalen spricht klar dafür, dass es sich bei dem Fund um eine eigene Hominidenart handelt. Doch rechtfertigt sein Merkmalsspektrum auch die Erhebung zu einer neuen Gattung?

Die Ähnlichkeiten zu *H. rudolfensis* und die morphologischen Unterschiede zu *Lucy* schließen laut Leakey und ihren Kollegen eine Eingliederung des Fundes in die Gattung *Australopithecus* aus. Eine Zuordnung zu *Paranthropus* kommt angesichts der nur geringen Gemeinsamkeiten noch weniger in Frage. Für eine Klassifikation als *Homo* schließlich reichen die fortschrittlicher ausgeprägten Merkmale nicht aus. KNM-WT 40 000 lässt sich somit in keiner etablierten und morphologisch klar definierten Hominidengattung zwanglos unterbringen. Da scheint es nur konsequent, wie von Leakey vorgeschlagen, eine neue Gattung zu postulieren.

Aber so ganz mag diese Lösung nicht befriedigen. Das liegt auch daran, dass außer dem Schädel keine anderen Knochen gefunden wurden, die zum gleichen Fossil gehören könnten. Über den Körperbau von *Kenyanthropus* ist deshalb nichts bekannt. Seine Besonderheit beruht also letztlich nur auf der ungewöhnlichen Kombination kleiner Backenzähne mit einem großen, flachen Gesicht und einer hohen Wangenregion, die bei früheren oder zeitgleichen Hominidenarten so nicht vorkommt. Alle anderen bekannten Hominidenarten mit großen Gesichtern und ähnlich positionierten Backenknochen haben große Zähne.

Diese Unterschiede deuten auf divergierende Ernährungsstrategien hin. Tim White von der Universität Berkeley zieht deshalb die Möglichkeit in Betracht, dass es sich bei dem neuen Fund vom Turkana-See möglicherweise doch „nur" um eine durch Anpassung an spezifische Umwelt- und Nahrungsbedingungen entstandene Unterart des *Australopithecus afarensis* handeln könnte.

Ungleiche Zeitgenossen

Datierung und Fundort erlauben in jedem Fall den Schluss, dass *K. platyops* und *A. afarensis* gemeinsam vor etwa 3,5 bis 3 Millionen Jahren in Ostafrika lebten. Ob sie sich dabei begegneten, und wenn ja, ob sie dies als Vertreter unterschiedlicher Gattungen oder lediglich unterschiedlicher Spezies taten, lässt sich momentan noch nicht mit Sicherheit sagen.

Eines steht allerdings fest: Die Hominidenevolution ist zu keiner Zeit geradlinig oder gar zielgerichtet verlaufen. Die Existenz nur einer Hominidengattung zu einer bestimmten Zeit – ein Zustand, wie wir als *Homo sapiens* ihn seit rund 30 000 Jahren nicht mehr anders gewohnt sind – ist in unserer Stammesgeschichte (wie auch in der vieler anderer Säugetiere) zweifellos die Ausnahme. Wie uns die Fossilfunde der letzten Jahre verdeutlichen, gab es vor 3,5 bis 2 Millionen Jahren stets mehrere Hominidenarten, die jeweils mehr oder weniger erfolgreich an bestimmte Lebensräume und Klimabedingungen angepasst waren. Bisher ist offen, welche davon in der direkten Abstammungslinie des Menschen stehen und welche sich als Sackgassen der Evolution erwiesen haben. Diese Frage zu beantworten wird die spannende Herausforderung für die Anthropologen in der nächsten Zukunft sein.

Dabei gilt es, sich zur taxonomischen Bestimmung fossiler Funde nicht mehr nur auf die herkömmlichen morphologisch deskriptiven Verfahren zu stützen. Moderne Methoden der Datenerhebung wie die Paläogenetik, die Vergleiche zwischen vorhandenen Resten von Erbgut anstellt, warten darauf, auch von denen genutzt und verbessert zu werden, die einem der interessantesten Rätsel der Wissenschaft nachspüren: der Frage nach dem Ursprung unserer eigenen Art. ■

***Michael Scholz** ist promovierter Paläanthropologe und Prähistoriker an der Universität Tübingen.*

MEDIZIN

Mit Stammzellen gegen Herzinfarkt-Schäden

Während man die Akuttherapie von Herzinfarkten mittlerweile gut im Griff hat, lässt sich den oft problematischen Spätfolgen kaum vorbeugen. Abhilfe versprechen zwei neue Ansätze auf der Basis von Knochenmark-Stammzellen.

Von Petra Jacoby

Der Herzmuskel erhält sauerstoffreiches Blut über die Herzkranzgefäße. Wird bei einem Infarkt eine solche Arterie durch ein Blutgerinnsel blockiert, stirbt der von ihr versorgte Gewebebereich ab. Zur Sofort-Behandlung gibt es seit einiger Zeit mehrere gut wirksame Mittel, die die Auflösung des Blutpfropfs stark beschleunigen. Dadurch haben sich die Überlebenschancen von Patienten mit einem akuten Herzinfarkt enorm verbessert.

Langzeitschäden lassen sich dagegen noch nicht vermeiden. Da Herzmuskelzellen sich nicht teilen können, sind sie nicht fähig, das abgestorbene Gewebe zu ersetzen. Stattdessen bildet sich im Infarktbezirk eine Narbe aus nicht kontraktionsfähigem Bindegewebe, was die Leistung des Herzens vermindert. Die überlebenden Muskelzellen versuchen den Verlust durch Zellwachstum ohne Teilung, so genannte Hypertrophie, auszugleichen. Doch können sich nicht schnell genug neue Blutgefäße bilden, um den erhöhten Sauerstoffbedarf der vergrößerten Zellen zu decken. Daher stirbt schließlich auch eigentlich gesundes Gewebe ab, sodass noch lange nach Auflösung des Blutgerinnsels, das den Infarkt verursacht hat, Bindegewebe entsteht. Das reduziert die Herzleistung noch mehr und steigert das Risiko narbenbedingter Herzrhythmusstörungen.

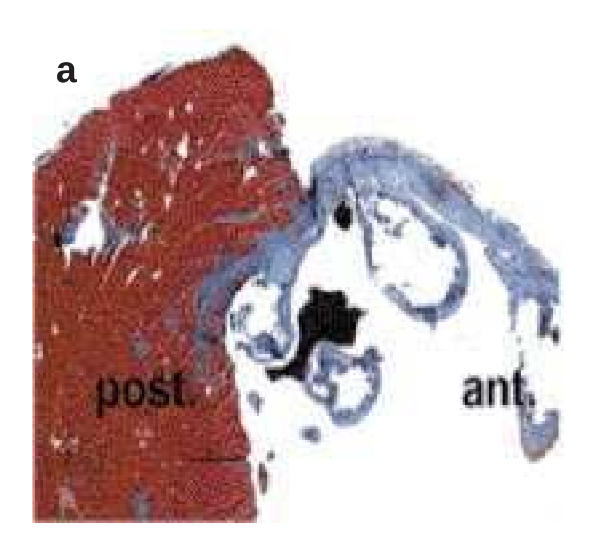
Die Ergebnisse neuer Untersuchungen mit so genannten Stammzellen aus dem Knochenmark lassen nun hoffen, dass dieser Teufelskreis durchbrochen werden kann. Sie zeigen Wege auf, sowohl den Verlust von Herzmuskelzellen zu verringern als auch die Bildung neuer Blutgefäße im gesunden Gewebe zu fördern. Bei Stammzellen ist die weitere Entwicklung noch nicht starr festgelegt; je nach Umgebungsbedingungen können sie oft sehr verschiedene Zellarten hervorbringen.

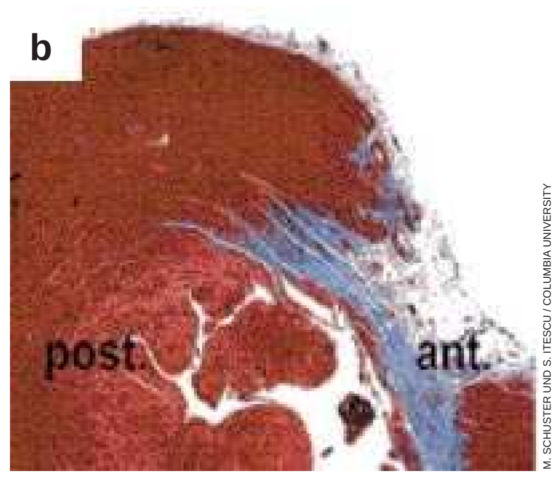
Schon seit Ende der neunziger Jahre ist aus Tierversuchen bekannt, dass in ein Herz transplantierte Knochenmark-Stammzellen in der Lage sind, sich zu Herzmuskelzellen zu differenzieren. Donald Orlic und seine Kollegen vom New York Medical College in Valhalla (New York) und den National Institutes of Health in Bethesda (Maryland) konnten dies nun erstmals auch an einem Mausmodell nachweisen, das die Situation nach einem Herzinfarkt beim Menschen imitiert (*Nature, Bd. 410, S. 701*).

Dabei fanden sie heraus, dass nur bestimmte Knochenmarkzellen, die nicht zur Blutbildungs-Linie gehören und auf ihrer Oberfläche ein bestimmtes Protein namens c-kit tragen, zur Entwicklung von Herzmuskelgewebe fähig sind. Wenn Orlic und seine Kollegen solche aus Spendermäusen gewonnenen Zellen kurz nach Erzeugung eines Infarkts in das Umfeld des geschädigten Areals transplantierten, wurde im Idealfall mehr als die Hälfte der Infarktregion von neu gebildetem und nachgewiesenermaßen funktionstüchtigem Herzmuskel eingenommen. Die Herzleistung der Mäuse verbesserte sich dadurch deutlich. Allerdings wäre eine solche Transplantation bei Patienten mit einem akuten Herzinfarkt sehr riskant.

Bildung neuer Blutgefäße

Das Team um Alfred Kocher von der Columbia-Universität in New York verfolgt deshalb einen anderen Ansatz. Statt sich um eine Regeneration von Herzgewebe zu bemühen, sucht es nach Möglichkeiten, die Bildung neuer Blutgefäße im Herzmuskel nach einem Infarkt zu verstärken. Auch dabei erwiesen sich bestimmte Knochenmark-Stammzellen als Erfolg versprechend (*Nature Medicine, Bd. 7, S. 430*). In diesem Falle sind es Blutgefäßbildungszellen mit dem Oberflächenprotein CD117. Injiziert man Ratten zwei Tage nach dem Auslösen eines Infarkts intravenös menschliche Knochenmarkzellen, die diese Subpopulation enthalten, so wandern deren Mitglieder in das geschädigte Herzmuskelgewebe ein, siedeln sich dort an und bilden innerhalb der Infarktzone durch Teilung und Differenzierung neue Blutgefäße. Zudem geben die Stammzellen nicht näher definierte Signalstoffe ab, die im Gewebe





M. SCHUSTER UND S. ITESCU / COLUMBIA UNIVERSITY

Die Herzen unbehandelter Ratten (a) enthalten 15 Wochen nach einem Infarkt deutlich weniger Herzmuskelgewebe (rotbraun) und einen höheren Narbenanteil (blau) als Herzen von Ratten, denen menschliche Blutgefäßbildungs-Stammzellen aus dem Knochenmark injiziert wurden (b). Die Gewebeschnitte gehen durch die hintere (post.) und vordere (ant.) Wand der linken Herzkammer; die Infarktzone befindet sich jeweils auf der rechten Seite.

rund um den abgestorbenen Bereich die Bildung weiterer Blutgefäße anregen. Dies fördert die Durchblutung des vom Infarkt nicht betroffenen Gewebes, sodass mehr gesunde vergrößerte Herzmuskelzellen überleben. Erfreuliches Resultat beider Effekte: weniger Bindegewebe und eine kleinere Narbe, was die Herzfunktionen dauerhaft verbessert.

Weil die Stammzellen bei diesem Therapieansatz einfach intravenös injiziert werden können, dürfte das Verfahren relativ problemlos auf den Menschen übertragbar sein. Weitere Studien müssen zeigen, ob es auch für Herzmuskel-regenerierende Stammzellen schonendere Alternativen zur riskanten Einpflanzung direkt am Herzen gibt. In jedem Fall stehen die Chancen gut, die zur Zeit noch unvermeidlichen Spätschäden nach einem Herzinfarkt durch den Einsatz von Knochenmark-Stammzellen zu mindern und damit die Lebenserwartung von Infarkt-Patienten deutlich zu erhöhen. ■

Petra Jacoby *ist Diplom-Biologin und arbeitet als freie Wissenschaftsjournalistin in Wittlich.*

ASTROPHYSIK

Bevor der Kosmos Gas gab

Eine jüngst entdeckte Supernova mit einem Rekordalter von 11,3 Milliarden Jahren bestätigt, dass sich das Weltall immer schneller ausdehnt – vermutlich getrieben von einer mysteriösen Kraft, wie sie Einstein einst postuliert hatte.

Von Henning Engeln

Als Albert Einstein im Jahre 1917 versuchte, seine kurz zuvor formulierte Allgemeine Relativitätstheorie auf den Kosmos anzuwenden, stieß er auf ein Problem: Ein statisches Weltall, wie es nach damaligen Vorstellungen existierte, war mit seinen Gleichungen nicht vereinbar, weil sich die Massen gegenseitig anziehen und so schließlich in einem Punkt zusammenfallen müssten. Deshalb postulierte der geniale Theoretiker eine bislang unbekannte Kraft, die der Gravitation entgegenwirkt und die Massen auseinander treibt. Er nannte sie „kosmologische Konstante" und korrigierte damit seine Gleichungen.

Doch dann stellten Astronomen in den zwanziger Jahren fest, dass sich sämtliche fremden Galaxien von der unseren weg bewegen – quasi vor uns fliehen – und zwar umso schneller, je größer ihre Entfernung ist. Das ließ nur einen Schluss zu, wie der amerikanische Astronom Edwin Hubble 1929 konstatierte: Das All dehnt sich unablässig aus. Wenn man aus den Geschwindigkeiten und Bewegungsrichtungen der Galaxien zurückrechnete, so mussten sie alle einst von einem einzigen Punkt ausgegangen sein. Die Idee vom Urknall, der unser Universum bis heute auseinander fliegen lässt, war geboren. ▶

Damit erwies sich Einsteins Konstante als überflüssig, und ihr Urheber selbst bezeichnete sie als „größte Eselei meines Lebens“. Die Hubble-Konstante hingegen beschrieb einen linearen Zusammenhang zwischen der Fluchtgeschwindigkeit einer Galaxie und ihrer Entfernung – je weiter weg, desto schneller. Die Geschwindigkeit wiederum ließ sich leicht anhand der Rotverschiebung des Lichtes berechnen. So wie der Sirenenklang eines davonrasenden Polizeiautos tiefer klingt als bei dessen Annäherung, ist die Lichtfrequenz ferner Sterneninseln in den langwelligeren, roten Bereich verschoben.

Seitdem gab es drei Alternativen für die Zukunft unseres Weltalls: Es dehnt sich mit allmählich abnehmender Geschwindigkeit bis in alle Ewigkeit weiter aus (konkaves Universum), die Expansion kommt genau in der „Unendlichkeit“ zum Stillstand (flaches Universum), oder aber sie kehrt sich irgendwann um, sodass der Kosmos wieder in sich zusammenstürzt (konvexes Universum).

Die Hubble-Konstante galt dabei als eine Art Zollstock für das zuverlässige Errechnen von Distanzen zwischen den Sterneninseln. Noch bis vor wenigen Jahren ging der Streit nur über ihren genauen Wert. Das änderte sich überraschend im Jahre 1998, als zwei Astronomen-Teams von der Universität von Kalifornien in Berkeley und vom Lawrence Berkeley National Laboratory zu der revolutionären Einsicht gelangten, das Weltall dehne sich immer schneller aus – was von der Zeitschrift „Science“ zum wissenschaftlichen Durchbruch des Jahres erklärt wurde.

Wegmarken im Weltall

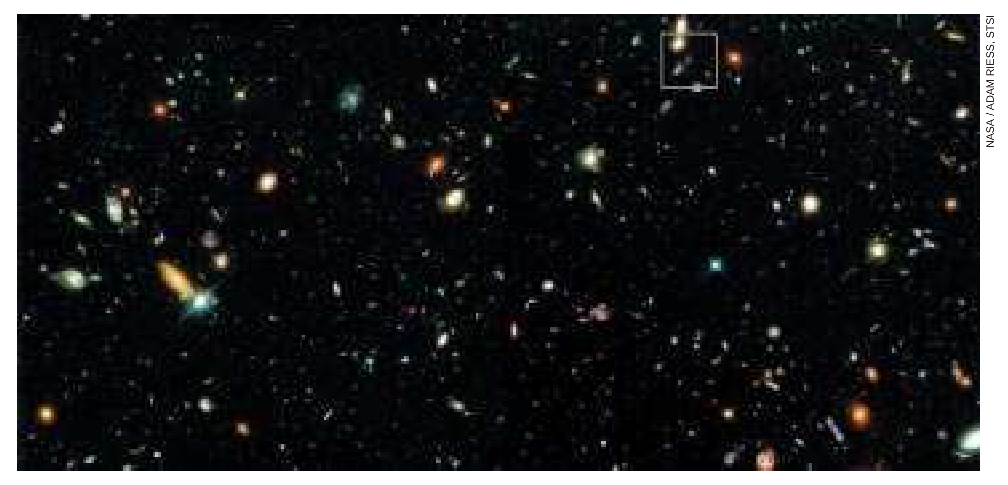
Um die neue Erkenntnis zu verstehen, muss man wissen, wie die Hubble-Konstante bestimmt wird. Man braucht dafür nicht nur die leicht zu ermittelnde Rotverschiebung, sondern muss die Entfernung des betreffenden Objektes auch noch auf eine zweite, davon unabhängige Weise messen. Dies ist ungleich schwieriger. Bei Himmelsobjekten mit bekannter Leuchtkraft kann es über deren scheinbare Helligkeit geschehen; denn die nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ebenso ab wie eine gewöhnliche Kerze immer blasser erscheint, je weiter ein Betrachter sich von ihr weg bewegt.

Das Problem ist allerdings, im Weltall solche „Standardkerzen“ mit bekannter Leuchtkraft zu identifizieren. Astronomen rechnen beispielsweise die Cepheiden dazu: veränderliche Sterne, deren absolute Helligkeit von ihrer Schwankungsperiode abhängt. Sie sind allerdings wegen ihrer relativ geringen Leuchtkraft nur bis zu einer Entfernung von rund 60 Millionen Lichtjahren zu beobachten. Als weiterer Typ von Standardkerzen gelten Supernovae vom Typ Ia: Weiße Zwerge, die von einem Begleiter Materie absaugen, bis sie jene kritische Masse erreicht haben, bei der sie unter ihrer eigenen Schwerkraft kollabieren. Dabei wird stets eine ähnliche Energiemenge frei, und über die Geschwindigkeit des Verblassens lässt sich die absolute Helligkeit bestimmen.

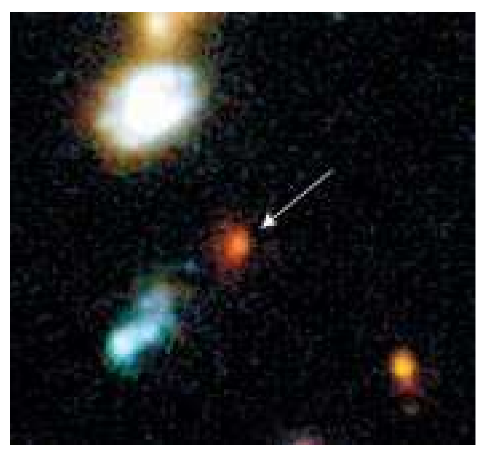
Als die Astronomen aus Berkeley vor gut zwei Jahren etliche dieser Typ Ia-Supernovae vermaßen, zeigte sich, dass die Standardkerzen schwächer leuchteten, als das anhand ihrer Rotverschiebung zu erwarten gewesen wäre. Sie mussten also weiter weg sein als geglaubt, und das war nach Auffassung der beiden Teams aus Berkeley nur möglich, wenn sich die Expansion des Weltalls mit der Zeit beschleunigt hat.

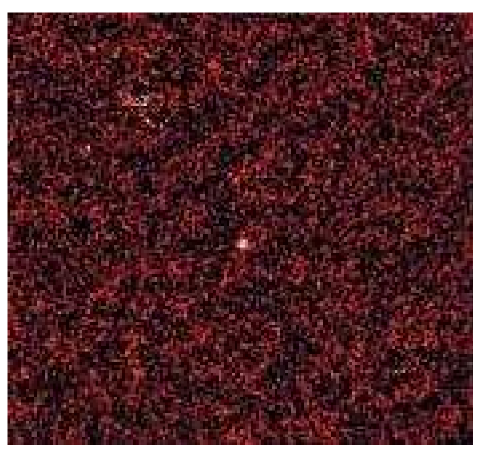
Allerdings ließen sich andere Deutungen nicht völlig ausschließen. „Es könnte zum Beispiel Staub zwischen dem Objekt und uns liegen, der die Helligkeit abschwächt“, gibt der Supernova-Experte Wolfgang Hillebrandt vom Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching bei München zu bedenken. „Oder eine Supernova vom Typ Ia könnte sich in der frühen Phase unseres Universums anders entwickelt haben als später.“

Doch nun leistet eine Typ Ia-Supernova, die mit 11,3 Milliarden Lichtjahren alle Entfernungsrekorde schlägt, der These vom beschleunigten Universum Schützenhilfe. Das Objekt „SN 1997ff“ war bereits im Dezember 1997 zufällig vom Hubble Space Telescope fotografiert und in den Wochen danach in ganz anderem Zusammenhang mit der Infrarotkamera des Teleskops aufgenommen worden. Ein halbes Jahr später geriet die Galaxie mit der inzwischen weitgehend abgeklungenen Supernova nochmals auf ein Foto. Erst Mitte 2000 jedoch wurden Adam Riess und seine Kollegen vom Space Tele- ▶



NASA / ADAM RIESS, STSI





Auf einer Aufnahme der Deep Field Camera des Hubble-Weltraumteleskops (oben) ist in einem kleinen Ausschnitt (links unten) als gelblich-orangefarbener Fleck (Pfeil) eine mehr als zehn Milliarden Lichtjahre entfernte Galaxie zu sehen. In ihrem Inneren wurde beim Vergleich von Aufnahmen aus den Jahren 1997 und 1995 die bisher fernste Supernova entdeckt (rechts unten).

 (Seiten 17 bis 20: Anzeigen und Beihefter)

scope Science Institute in Baltimore auf das Objekt aufmerksam und konnten es als Typ Ia-Supernova identifizieren; denn es zeigte nicht nur die typische Lichtkurve, sondern schien sich auch in einer elliptischen Galaxie zu befinden, in der nach bisheriger Erfahrung nur Sternexplosionen dieses Typs vorkommen. Mit freudiger Überraschung stellten Riess und Kollegen außerdem fest, dass sie einen Rekordhalter entdeckt hatten: Mit einer Rotverschiebung von 1,7 ist SN 1997ff deutlich weiter von uns entfernt als alle bislang bekannten Supernovae, die es nur bis auf eine Rotverschiebung von 1,2 und eine Entfernung von 9,8 Milliarden Lichtjahren bringen.

Anhand der Lichtkurve konnte Riess auch die Leuchtkraft ermitteln – und erlebte eine weitere Überraschung. Einerseits ist die beobachtete Helligkeit zwar geringer als nach der Rotverschiebung zu erwarten und steht damit prinzipiell in Einklang mit der Hypothese von der Beschleunigung unseres Weltalls; andererseits aber ist sie doch etwas größer, als sie auf Grund einer einfachen Extrapolation der anderen Supernova-Beobachtungen sein sollte. Was zunächst verwirrend erscheint, entpuppt sich bei genauerer Betrachtung jedoch sogar als bisher bester Beleg für die Beschleunigungstheorie.

„Diese Supernova zeigt uns, dass sich das Universum verhält wie ein Autofahrer, der vor einer roten Ampel zu bremsen beginnt, um dann so richtig Gas zu geben, wenn sie auf Grün springt“, deutet Riess den Befund. Gebremst hatte im frühen Universum die Anziehungskraft zwischen der Materie, die umso stärker wirkt, je näher die Galaxien beieinander liegen. Damals war SN 1997ff explodiert. Erst ab einer gewissen Ausdehnung des Alls gewann dann vor rund 11 Milliarden Jahren die – von der Entfernung unabhängige – abstoßende Kraft der kosmologischen Konstanten die Oberhand.

Ist das beschleunigte Universum damit eine Tatsache? Staub, so glaubt Wolfgang Hillebrandt, könne nach der Analyse der neuen Supernova nun als Gegenargument ausgeschlossen werden. Denn je weiter ein Objekt entfernt sei, desto mehr müsse der Staub ins Gewicht fallen und das Licht bei einer derart großen Distanz, wie SN 1997ff sie habe, sehr viel stärker abschwächen. Bleiben als Einwand somit nur noch mögliche Unterschiede in der Entwicklung einer Supernova-Standardkerze zwischen einst und jetzt.

Dennoch hält Hillebrandt die neue Beobachtung für einen Meilenstein: „Die Vorstellung eines sich schneller ausdehnenden Universums festigt sich.“ Letzte Klarheit wird allerdings erst die Auswertung einer großen Zahl solcher extrem weit entfernten Supernovae bringen. Dazu ist ein spezielles Beobachtungsgerät namens SNAP (*Supernova Acceleration Probe*) geplant. Dieses satellitengestützte Infrarot-Teleskop mit einem Spiegeldurchmesser von zwei Metern soll in fünf bis acht Jahren die Erde umkreisen und jährlich 1000 bis 2000 Supernovae aufspüren. Dann könnte sich Einsteins „größte Eselei“ endgültig als versehentlicher genialer Wurf erweisen – als eine „dunkle Energie“, die die Expansion des Weltalls immer mehr beschleunigt. ■

__Henning Engeln__ ist promovierter Biologe und lebt als freier Wissenschaftsjournalist in Hamburg.

AM RANDE

Sternmärchen als Uni-Fach

Charles Harvey hätte Romanschriftsteller werden können. Ein Verlag hatte bereits die Veröffentlichung seines ersten Werks geplant, als dem jungen Briten in Barcelona eine Tasche mit dem fertigen Manuskript und einem Astrologiebuch gestohlen wurde. Das muss ein Fingerzeig der Sterne gewesen sein. Da Harvey sich außerstande sah, das Manuskript neu zu erstellen, wollte er wenigstens das Buch ersetzen, begann in den Astrologieabteilungen der Buchhandlungen danach zu suchen, und wurde dabei selbst zum Astrologen. Über drei Jahrzehnte hinweg war er vor allem darum bemüht, der Sterndeuterei wieder zu der gesellschaftlichen Anerkennung zu verhelfen, die sie bis vor 300 Jahren besessen hatte.

Harvey verstarb vor gut einem Jahr, 59-jährig, doch sein Bemühen machte kürzlich Schlagzeilen. Er hatte den Sophia Trust gegründet, der über eine halbe Million Pfund von einer anonymen Spenderin verfügt, und damit die „Rehabilitierung“ der Astrologie betreiben will. Professuren und Forschungsprojekte sollen an mehreren britischen Universitäten eingerichtet werden. Die 1952 gegründete Universität der südenglischen Hafenstadt Southampton war die erste, die sich jetzt öffentlich zur Annahme dieser Förderung bekannte.

Willkommen im 21. Jahrhundert! Wir verfügen über hochtechnische, aus jahrzehntelanger wissenschaftlicher Arbeit hervorgegangene Technologien, wie etwa die In-vitro-Fertilisation, und dann gehen Wissenschaftler an einer staatlichen Hochschule daran, zu untersuchen, ob IVF besser klappt, wenn Jupiter und Saturn in Konjunktion stehen. Aufklärer wie Richard Dawkins kämpfen verbissen darum, die Religion, jenen „Virus des Geistes“, aus Schule und Staat zurückzudrängen, und dann werden dem Aberglauben sogar noch neue Türen geöffnet, wird die Geistesgeschichte um drei Jahrhunderte zurückgeworfen. Ich mache mir übrigens Sorgen darüber, dass Dawkins noch keinen bissigen Kommentar dazu abgegeben hat — hoffentlich hat ihn bei dieser Nachricht nicht der Schlag getroffen.

Man mag sich gar nicht vorstellen, wie das weitergehen soll — ein Lehrstuhl für Weihnachtsmannforschung wäre sicherlich attraktiv wegen der langen Sommerferien. Ein Institut für Feenkunde käme aufgrund der kaum greifbaren Studienobjekte mit geringem Laborplatz aus. Und Uri Geller wartet bestimmt schon seit Jahrzehnten darauf, dass man ihm die hochverdiente Professur im Löffelbiegen einrichtet.

Sie mögen einwenden, dass man die Sterndeuterei einfach als Fiktion, ein Kulturprodukt wie Lyrik, Oper oder Star-Trek einordnen könnte. Schließlich gibt es auch Akademiker, die sich mit der Sprache der Klingonen befassen — oder mit der Frage, mit wie vielen Frauen sich Don Juan vergnügte. Doch gerade das Beispiel der IVF (das habe ich nicht erfunden!) zeigt, dass Astrologie jenen Menschen falsche Hoffnungen macht, die auf eine reale Hilfe angewiesen sind. (Ich weiß, das tut die Religion bisweilen auch. Aber diesen Virus auszurotten schafft selbst Dawkins nicht.)

Kurzum, die Kundschaft sollte — schon allein im Sinne des Verbraucherschutzes — darüber informiert werden, ob sie belogen wird oder nicht. Wenn die Astrologie im Buchladen unter „Fiction“ stünde, oder besser noch, wenn Harvey und seine GenossInnen beim Romaneschreiben geblieben wären, könnte niemand etwas dagegen haben.

Michael Groß (Skorpion)

www.michaelgross.co.uk

ZEFA

QUANTENOPTIK

Gestoppter Lichtpuls

Mit raffinierten Tricks gelang es gleich zwei Forschergruppen, einen Lichtblitz anzuhalten und wieder losfliegen zu lassen. Das Kunststück eröffnet neue Möglichkeiten für Quantencomputer und Kryptographie.

Von Oliver Morsch

Letztes Jahr erregte die Meldung Aufsehen, Physiker hätten die größte aller erreichbaren Geschwindigkeiten, nämlich die des Lichts, mit Tricks überboten – was in der Fachwelt auf einigen Unglauben stieß und zum Teil noch kontrovers diskutiert wird. Nun haben andere Wissenschaftler sozusagen den Anti-Rekord dazu aufgestellt: Statt Licht auf eigentlich unmögliche Geschwindigkeiten zu beschleunigen, brachten sie es zum Stehen, und ließen es nach einer frei wählbaren Zeit weiterfliegen. Auch diesmal horchte nicht nur die Forschergemeinde auf.

Nun scheint die Dauer, für die das Licht gestoppt wurde, wenig spektakulär: Gerade einmal für eine Tausendstelsekunde konnten die Wissenschaftler das Wellenpaket anhalten, bevor sie es wieder loslassen mussten. Allerdings hätte das Licht in dieser Zeit im Vakuum immerhin 300 Kilometer zurückgelegt. Insofern sind die geglückten Experimente zweier Arbeitsgruppen aus Cambridge (Massachusetts) tatsächlich bemerkenswert.

Schon vor zwei Jahren hatte das eine Team unter Leitung von Lene Vestergaard Hau am Rowland Institute for Science Licht so weit abgebremst, dass ein Profi-Radfahrer es leicht überholen konnte. Ein vollständiges Anhalten schien damals aber nicht möglich. Nur wenige Monate später entdeckten findige Theoretiker – darunter Michael Fleischhauer von der Universität Kaiserslautern – allerdings eine Möglichkeit, das Kunststück doch zu vollbringen.

In gewisser Weise ist es gar nicht schwer, Licht zum „Stehen" zu bringen: Man nehme ein schwarzes Blatt Papier, halte es in einen Lichtstrahl, und schon wird er gestoppt. Allerdings handelt es sich dabei weniger um eine Vollbremsung als um einen Frontalzusammenstoß mit Totalschaden. Danach kann man den Lichtstrahl nämlich nicht wieder auf die Reise schicken, da er schlicht aufgehört hat zu existieren: Die in ihm enthaltene Energie wurde in Wärme umgewandelt, und eine Rückumwandlung derselben in die Photonen, aus denen der Lichtstrahl bestand, ist nach den Gesetzen der Physik nicht möglich.

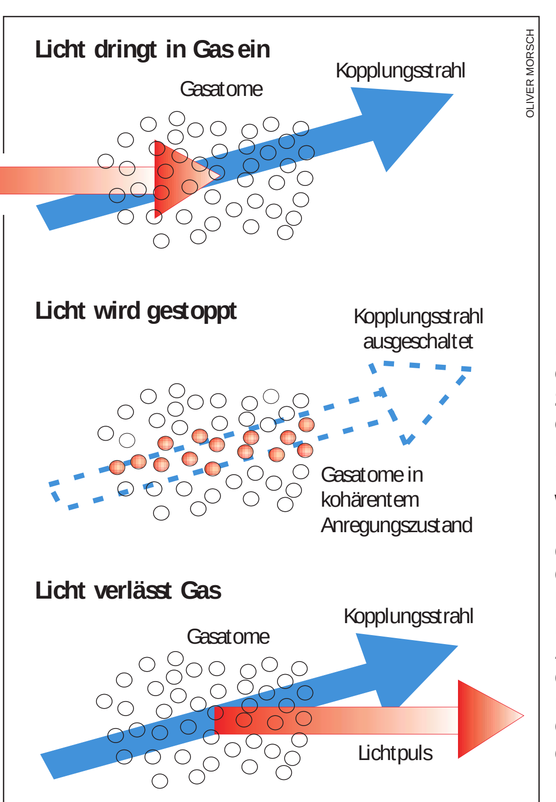
Allenfalls könnte man an das Papier eine zweite Lichtquelle mit Infrarotsensor anschließen, die auf die Erwärmung des Blattes hin nach einer vorbestimmten Zeit einen Strahlungspuls aussendet. Dieser hätte aber mit dem ursprünglichen nicht das Geringste zu tun. Insbesondere trügen die Photonen völlig andere quantenmechanische Informationen.

An deren Bewahrung aber sind die Physiker interessiert. Schließlich ist das Anhalten eines Lichtstrahls für sie keineswegs bloße Spielerei; vielmehr möchten sie den Trick für Zukunftstechnologien wie Quantencomputer und Quantenverschlüsselung einsetzen. Dazu aber darf das vorübergehend gestoppte Informationspaket seinen Inhalt nicht verlieren.

Tatsächlich haben die Forscher aus Cambridge einen Weg gefunden, das zu vermeiden. Insbesondere verhinderten sie mit dem Phänomen der elektromagnetisch induzierten Transparenz (EIT), dass die Photonen einfach von der Gaswolke verschluckt werden. Der Trick besteht dabei darin, einen zweiten Lichtstrahl, Kopplungsstrahl genannt, durch das Gas zu schicken. Er verändert die quantenmechanischen Energiezustände der Atome derart, dass sie zwar noch mit dem ersten Lichtstrahl wechselwirken, ihn aber nicht mehr absorbieren können. Die Präsenz der Atome drückt sich dann nur noch im Brechungsindex des Gases aus, der angibt, wie stark Licht darin abgebremst wird.

Zwitter aus Licht und Materie

Zudem entsteht durch die Wechselwirkung des Lichtpulses mit den Gasatomen gleichsam ein Zwitterwesen aus Licht und Materie, das so genannte Dunkelzustands-Polariton. Dessen „Materieanteil" sind die Kohärenzen – definierten Beziehungen – zwischen den atomaren Energiezuständen, die der Lichtstrahl hervorruft. Sie beruhen auf einer Besonderheit der Quantenmechanik. Danach können äußere Einflüsse bewirken, dass sich die Energiezustände der Atome überlagern, wodurch neue Zustände entstehen. Auf diese Art und Weise werden Informationen über die Eigenschaften des einfallenden Lichtpulses im Kollektiv der Atome gespeichert. In welchem Ausmaß das Polariton nun aus diesen Kohärenzen besteht, hängt von der Intensität des Kopplungsstrahls ab. Ist sie hoch, überwiegt der Lichtanteil; bei schwachem Kopplungsstrahl ist dagegen fast alle Information über den Lichtpuls in den Atomen gespeichert, und das Licht breitet sich nur noch sehr langsam in dem Gas aus



Durch An- und Abschalten eines Kontrollstrahls konnten zwei Forschungsgruppen einen Lichtpuls für kurze Zeit in einem Gas festhalten und ihn danach unverändert weiterfliegen lassen. Der Kontrollstrahl sorgt dafür, dass der Lichtpuls von dem Gas zunächst nicht absorbiert, sondern nur abgebremst wird. Nach seinem Abschalten verwandelt sich der Lichtstrahl in ein kohärentes Anregungsmuster der Gasatome, aus dem sich nach dem erneuten Anschalten des Kontrollstrahls der Lichtimpuls zurückbildet.

– man könnte sagen, es wird langsamer, weil es den Materieanteil des Polaritons mitschleppen muss.

Den Kniff, einen schwächeren Kopplungsstrahl einzusetzen, um den Lichtpuls langsamer werden zu lassen, hatten die Forscher bereits in den ersten Experimenten zur Lichtabbremsung ausgenutzt. Leider hat diese Methode einen entscheidenden Haken. Je schwächer der Kopplungsstrahl nämlich ist, desto stärker wird zwar der Lichtpuls abgebremst, aber umso schmaler muss auch der Bereich an Frequenzen sein, die er enthält. Nun ist dieser Frequenzbereich – die so genannte Spektralbreite – durch die Heisenbergsche Unschärferelation mit der Dauer (und damit der Länge) des Pulses verknüpft. Soll dieser exakt monochromatisch sein, also nur aus Photonen einer einzigen Frequenz bestehen, muss er eine unendliche Länge haben. Je kürzer er aber ist, desto mehr Frequenzen enthält er zwangsläufig. Damit ergibt sich ein Dilemma: Will man den Puls im Gas mit einem äußerst schwachen Kopplungsstrahl drastisch verlangsamen, muss man ihn sehr lang machen, wofür man wiederum ein extrem großes Behältnis mit dem bremsenden Gas braucht.

Der Ausweg aus dieser misslichen Lage liegt nun darin, zunächst einen relativ starken Kopplungsstrahl zu benutzen, mit dem sich auch ein kurzer Lichtpuls bis zu einem gewissen Grad abbremsen lässt; ist der Puls dann erst im Gas drin, kann die Intensität des Kopplungsstrahls verringert werden. Eben dieses Tricks bedienten sich sowohl das Team von Lene Hau als auch die zweite Gruppe unter Ronald Walsworth vom Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics. Sie setzten zunächst einen relativ starken Kopplungsstrahl ein. Er sorgte dafür, dass das Gas einen hohen Brechungsindex hatte und zugleich für den Lichtpuls durchlässig war. Der Puls konnte deshalb in die Atomwolke eindringen und wurde dort „vorgebremst“ und dabei derart gestaucht, dass er komplett in das Gasvolumen passte. Zugleich bildete sich das erwähnte Dunkelzustands-Polariton.

Nun verringerten die Experimentatoren die Intensität des Kopplungsstrahls, sodass sich der Materieanteil des Polaritons erhöhte, während die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Photonen weiter abnahm. Schließlich schalteten sie den Kopplungsstrahl ganz aus, was den Lichtpuls praktisch anhielt: Die gesamte Information, die er trug, war nun in den Atomen gespeichert. Nach einer Weile wurde der Kopplungsstrahl wieder angeschaltet. Dadurch verwandelte sich der Materieanteil des Polaritons erneut in ▶

elektromagnetische Strahlung, und der Lichtpuls erwachte wieder zum Leben.

Beliebig lange lässt sich Licht auf diese Weise allerdings noch nicht speichern; da sich die Atome bewegen und miteinander kollidieren, werden die Kohärenzen zwischen ihnen mit der Zeit zerstört. Ehe sich nützliche Speicherelemente beispielsweise für Quantencomputer konstruieren lassen, muss noch das Problem der Lebensdauer der Polaritonen gelöst werden.

Gelingt dies jedoch, eröffnen sich fantastische Möglichkeiten. So könnten erstmals rein optische Rechenelemente realisiert werden. Dazu würde man einen Lichtpuls einfangen, die enthaltene Information durch Manipulation der Polaritonen so verändern, dass sie dem Ergebnis der Berechnung entspricht, und ihn dann wieder losschicken. Während Haus Team für seinen Versuch ultrakalte Atome mit Temperaturen von wenigen tausendstel Kelvin (also praktisch am absoluten Temperaturnullpunkt bei –273 Grad Celsius) verwendete (*Nature, Bd. 409, S. 490*), arbeitete die Gruppe von Walsworth mit 70 bis 90 Grad heißen Gaswolken (*Physical Review Letters, Bd. 86, S. 783*). Die erzielbaren Speicherzeiten in Haus Experiment sind etwas länger. Zudem kann der Lichtpuls vollständig eingefangen werden, wogegen in Walsworths Experiment ein Teil verloren geht. Dafür ist der technische Aufwand beim Arbeiten mit heißen Gaswolken um einiges geringer, da das mühsame Kühlen auf Extremtemperaturen entfällt. Welche der beiden Methoden sich langfristig durchsetzt, bleibt abzuwarten. ■

Oliver Morsch *arbeitet als Postdoktorand an der Abteilung für Physik der Universität Pisa über die Laserkühlung von Atomen.*

Serie: Die Botschaft des Genoms (Teil X)



Anlässlich der Entzifferung des menschlichen Erbguts stellen wir beispielhaft zwölf darin codierte Proteine vor.

RNA-Polymerase II

Detektor und Kopist von Genen



GRAFIK: JEFF JOHNSON

Michael Groß *ist Biochemiker in Oxford (England)*

Obwohl das menschliche Genom gleich zweimal entziffert worden ist und der Text unserer Erbinformation inzwischen mehr oder weniger komplett in den einschlägigen Datenbanken steht, ist immer noch ungewiss, über wie viele Gene Sie und ich denn nun verfügen. Die Sequenzierer haben zu ihrem Erstaunen nur 30 000 gezählt. Andere Wissenschaftler behaupten jedoch, dass bei der Interpretation der schier endlosen Buchstabenfolge, aus der das teuflisch verworrene Konstruktionshandbuch des Menschen besteht, möglicherweise die Hälfte der Gene übersehen wurde.

In welchem Abschnitt der fadenförmigen Erbsubstanz DNA die Bauanleitung für ein Protein steckt und in welchem nicht, weiß nur eine: die RNA-Polymerase II. Dieses Enzym ist es nämlich, das den DNA-Faden abliest und dort, wo es ein aktiviertes Gen findet, eine Blaupause davon in Form einer so genannten Boten-RNA anfertigt; dieser Vorgang heißt Transkription („Umschreiben"). Die Nummer II rührt daher, dass es auch Polymerasen gibt, die Abschnitte der Erbsubstanz kopieren, in denen kein Protein verschlüsselt ist (sondern beispielsweise RNAs, die Bausteine der zellulären Eiweißfabriken bilden).

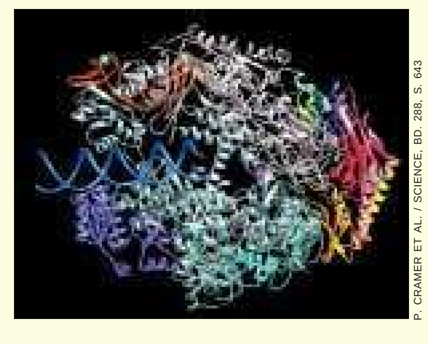
Ähnlich wie viele andere Schlüsselprozesse der Zelle wird die Transkription von einer hochgradig komplexen Nanomaschine ausgeführt. Die Polymerase II alleine besteht bereits aus einem Dutzend Proteinmolekülen, die man nach abnehmender Größe als Untereinheiten A bis L bezeichnet. Damit ein Gen abgelesen werden kann, müssen sich aber noch rund 60 Helferproteine an die DNA selbst oder an die Polymerase anlagern – dazu gehören insbesondere vielerlei Transkriptionsfaktoren, welche die Aktivität des Enzyms steuern. An dieser Komplexität scheiterten lange Zeit alle Versuche einer Strukturbestimmung. Erst vor einem Jahr konnten Wissenschaftler die räumliche Gestalt der Hefe-Polymerase in groben Zügen angeben. (Sie dürfte der des menschlichen Pendants sehr ähnlich sein, da die meisten Untereinheiten zwischen Hefe und Säugern austauschbar sind.) Vor kurzem gelang es dann, die Auflösung des Strukturbildes bis in den atomaren Bereich zu steigern.

Das Enzym hat die Form einer Zange, die sich um die abzulesende DNA-Doppelhelix schließt. Zusätzliche molekulare Bolzen und Klammern stabilisieren den Zangengriff so sehr, dass eine RNA-Polymerase auf einer endlosen DNA-Schiene ohne Stoppsignal vermutlich für alle Zeiten weiterwandern würde. Da das aktive Zentrum sich auf der Innenseite des Komplexes befindet, benötigt das Enzym Poren, die den RNA-Bausteinen den Zutritt und der wachsenden RNA-Kette den Abgang erlauben. Außerdem besitzen mehrere der Proteinuntereinheiten so genannte Zinkfinger – durch ein Zink-Ion stabilisierte Gebilde, die häufig das Anlagern eines Enzyms an die DNA-Doppelhelix vermitteln.

Die wichtigste Arbeit steht den Transkriptionsforschern allerdings noch bevor: die umfassende Entschlüsselung der Wechselwirkungen zwischen der Polymerase und den zahllosen Transkriptionsfaktoren, die ihre Aktivität steuern. Diese molekularen Schaltvorgänge definieren den Unterschied zwischen verschiedenen Zelltypen, zwischen gesundem Wachstum und Krebs sowie zwischen Leben und Tod einer Zelle, ja sogar eines ganzen Organismus. Die Polymerase ist somit nicht nur der Schlüssel zum Genom, sondern auch ein Schlüsselelement zum Verständnis der Biologie der Zelle.

Steckbrief

- Molekulargewicht: ca. 500 000
- Aminosäuren: ca. 4000
- 12 Untereinheiten auf diversen Chromosomen
- Transkriptionsenzym



P. CRAMER ET AL. / SCIENCE, BD. 288, S. 643

Die RNA-Polymerase II schließt sich wie eine Zange um die DNA-Doppelhelix (blau). Sie enthält ein Magnesium-Ion (lila) und Zink-Ionen (grün).

Gefiederter Dinosaurier



Noch in feinsten Details erhalten sind die federartigen Strukturen, die das Fossil dieses Raubsauriers aus der Familie der Dromaeosauridae bedecken. Es stammt aus dem Fanzhangzi-Steinbruch in der chinesischen Provinz Liaoning und ist zwischen 125 und 150 Millionen Jahre alt. Damit liefert es den bisher besten Beleg dafür, dass einige Dinosaurier schon über primitive Federn verfügten. Was ihnen vermutlich als Kälteschutz diente, entwickelten die Vögel zum Fliegen weiter.

QIANG JI, SHU-AN JI UND DONG REN, CHINESISCHE AKADEMIE FÜR GEOWISSENSCHAFTEN / MARK A. NORELL UND KE-QIN GAO, AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY

Science and Fun

Spektrum DER WISSENSCHAFT

ARMBANDUHR „WELLE"



Analog einem Stein, der ins Wasser fällt, erzeugt ein Polystyrolfilm in einem elektrischen Feld eine Welle, die von einem einzigen Punkt ausgeht. Das Ergebnis ist eine selbstorganisierte Säulenstruktur, die dem Zifferblatt einer Uhr ähnelt. Das Motiv dieser neuen Spektrum-Armbanduhr entstammt dem vom DFG-geförderten Forschungsprojekt „Nanostrukturen an Grenzflächen und Oberflächen" und lehnt sich an ein Foto von Erik Schäffer an. Armbanduhr „Welle" mit Edelstahlgehäuse, Lederarmband, nickelfrei, 3 ATM, 1 Jahr Garantie; **DM 84,–**.



SWINGING STICKS

Fast einem Perpetuum mobile gleich, scheinen die Schwingenden Stäbe der Gravitation zu trotzen. Lautlos kreisen die Stäbe ohne anzuhalten. An diesem Phänomen haben ein Elektroniker und ein Designer mehrere Jahre gearbeitet. Wichtiger Bestandteil neben der technischen Herausforderung war die Entwicklung eines edlen und leichten Designs in einer Metall-Holz-Kombination. Einzeln in Präzisionshandarbeit gefertigt, ist jedes von ihnen ein Unikat. Lieferung inklusive Batterien gegen Vorkasse; große Ausführung Format 865 x 810 x 140 mm **DM 899,–;** kleine Ausführung Format 445 x 415 x 100 mm **DM 579,-** (inkl. Versand Inland).

ASTRO-SET AUS KARTON

Das Astro-Set bietet Ihnen einen preisgünstigen Einstieg in die Himmelskunde und verspricht großen Bastelspass. Die Kartonmodelle sind einfach zu bauen und funktionieren ausgezeichnet. Mit dem Set lassen sich folgende Modelle nachbauen: Kleiner Sternenhimmel, Pendelquadrant, Sternsonnenuhr, Sonnenuhren 1 + 2, Jakobsstab, Magnetkompass, Sonnenkompass, Sonnensichtbrille, Westentaschen-Teleskop, Kepler-Teleskop, Galileo-Teleskop und Liliput Klappfernglas. Mitgeliefert wird ein Bastelmesser; **DM 46,–**.



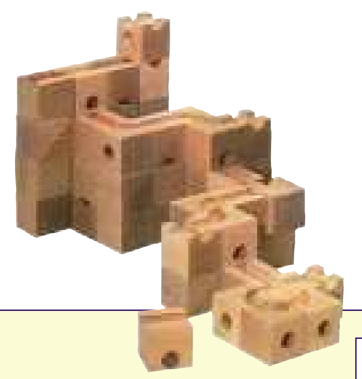
BUCHSTÜTZE EINSTEIN

Diese Buchstütze läßt Einstein für seine Werke gerade stehen. Die auf 300 Exemplare limitierte Buchstütze ist aus äußerst stabilem Holz gefertigt, mit UV-Schutz versiegelt und steht auf einer Edelstahlplatte. Höhe ca. 20 cm; **DM 59,–**.

JUNIOR WISSEN

MURMELBAHN

Die verschiedenen Würfel mit vielfältigen Bohrungen und Rinnen ermöglichen die Konstruktion von einfachen bis sehr komplizierten Murmelbahnen. Die richtige Kombination der Würfel ergibt Bahnen, die sowohl auf der Oberfläche der Würfel, als auch in Tunneln im Innern derselben verlaufen. Der kleine Baumeister (ab 4 Jahren) bestimmt den Kugellauf ganz allein. Der Standardbaukasten von Cuboro enthält 54 Buchenholzwürfel (Kantenlänge 5 cm) mit 12 verschiedenen Funktionen; **DM 239,–.**





KOSMOS BRENNSTOFFZELLE

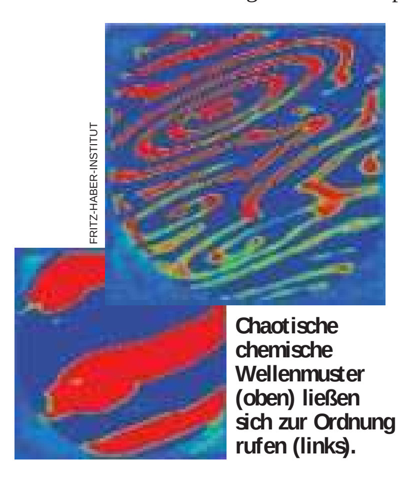
Der Experimentierkasten ermöglicht den Bau eines Modellfahrzeuges, das nur mit Hilfe von Wasser und Sonnenenergie fährt (ab 12 Jahren); **DM 198,–.**

INFORMATIONS- UND BESTELLSERVICE →

CHEMIE

Kontrolliertes Chaos

Chaotische Systeme zeigen den berühmten Schmetterlingseffekt: Schon eine winzige Störung kann so weit reichende Folgen haben, dass längerfristige Prognosen kaum möglich sind. Namensgebendes Beispiel ist der Flügelschlag eines Schmetterlings in China, der Unwetter in Europa heraufbeschwört. Doch manchmal lässt sich das Chaos gleichwohl steuern. Dies ist jetzt einem Team um Gerhard Ertl vom Berliner Fritz-Haber-Institut bei einer chemischen Reaktion gelungen: der Oxidation von Kohlenmonoxid (CO) auf einer Platinoberfläche, wie sie sich in Auto-Abgaskatalysatoren abspielt. Mit einem speziellen Elektronenmikroskop beobachteten sie auf dem Edelmetall spiralwellenartige Muster der CO-Bedeckung, die rasch wechselten und so sensibel auf den CO-Gehalt in der Gasphase reagierten, dass sie sich nicht vorhersagen ließen. Beim Versuch der Chaos-Lenkung überwachten die Forscher das Ausmaß der CO-Bedeckung anhand der Gesamthelligkeit im Sichtfenster des Mikroskops. Wenn sie dabei viel CO auf dem Platin feststellten, drosselten sie die Zufuhr des Gases – und verstärkten sie wieder, sobald das Metall an CO verarmte. Und siehe da: Stimmten Timing und Dosierung, dann bildeten sich stabile raum-zeitliche Muster. Eine recht simple Rückkopplung bringt also Ordnung ins Chaos. *(Science, Bd. 292, S. 1357)*



FRITZ-HABER-INSTITUT

Chaotische chemische Wellenmuster (oben) ließen sich zur Ordnung rufen (links).

ASTRONOMIE

Fulminantes Kometenfinale

Er versprach am Milleniumshimmel zu erstrahlen. Doch am 22. Juli 2000, kurz vor dem sonnennächsten Punkt seiner Bahn, zerbrach der Komet Linear in viele Stücke. Mit bodengestützten Teleskopen und Raumsonden verfolgten Astronomen das finale Ereignis. Jetzt präsentierten sechs Teams die Ergebnisse ihrer Auswertung. Demnach hatte der Kometenkern einen Durchmesser zwischen 200 und 900 Metern. Offenbar war er homogen, denn seine bis zu 100 Meter dicken Bruchstücke stimmten chemisch überein. Doch statt als „schmutziger Schneeball“, wie es die Kometenkundler erwarteten, erwies er sich als fliegender Geröllhaufen mit erstaunlich geringem Gehalt an Wassereis – schätzungsweise 0,25 Prozent. Trotzdem dürfte entweichender Wasserdampf den Kern gesprengt haben und nicht, wie zunächst vermutet, die explosionsartige Sublimation gefrorenen Kohlenmonoxids. Dessen Gehalt betrug mit weniger als 0,1 Promille nämlich lediglich einen winzigen Bruchteil der in anderen Kometen gemessenen Konzentrationen. Während diese vermutlich jenseits von Uranus entstanden, dürfte sich Linear zwischen Jupiter und Saturn gebildet haben. Dort ist es bereits so mild, dass sich Kohlenmonoxid nicht mehr als Eismantel auf Staubkörnchen niederschlägt. *(Science, Bd. 292, S. 1326)*



H. A. WEAVER, JOHNS HOPKINS UNIVERSITY

„Linear“ endete in Sonnennähe in einem Schauer von Trümmern.

BIOLOGIE

Spieglein, Spieglein an der Wand ...



WILDLIFE CONSERVATION SOCIETY

Menschen entwickeln bereits im frühen Kindesalter ein Bewusstsein ihrer selbst. Diese intellektuelle Leistung konnten Forscher im Tierreich bisher nur bei Schimpansen nachweisen. Doch nun zeigten Diana Reiss von der Columbia University in New York und Lori Marino von der Emory University in Atlanta (Georgia), dass auch Delphine sich zumindest selbst erkennen. Dazu installierten die Wissenschaftler in den Wasserbecken Spiegel und versahen zwei Große Tümmler im Gesicht und an den Körperseiten mit Tintenflecken. In einem Kontrollversuch täuschten die Forscher lediglich eine Markierung vor, indem sie die Tiere berührten, ohne Tinte aufzubringen. Nach dem Vorgang schwammen die beiden Delphine zu dem Spiegel und richteten ihre Körper derart aus, dass sie die markierten oder nur berührten Stellen sehen konnten. Dabei betrachteten sie sich viel länger, wenn sie Tintenflecke aufwiesen, als wenn sie keine Male trugen. Außerdem verhielten sie sich in Anbetracht ihres Spiegelbildes nicht, als ob ein Artgenosse erscheint – wie das Tiere tun, die sich nicht selbst erkennen. Die Ergebnisse bestätigen den Ruf der Delphine als hochintelligente Lebewesen.

Ein Großer Tümmler betrachtet sein Spiegelbild.

ARCHÄOLOGIE

Mysteriöse Schriftzeichen

In den Ruinen von Annau, nahe der russisch-iranischen Grenze, haben Archäologen ein 4300 Jahre altes Stein-Siegel mit einer bislang unbekannten Schrift entdeckt. Experten zufolge hat sie keine Ähnlichkeit mit den zur gleichen Zeit existierenden Schriften aus Mesopotamien, dem Iran oder dem Indus-Tal (die chinesische entstand erst einige hundert Jahre später). Vor allem besticht ihr hoher Abstraktionsgrad. Schon vor Jahren fanden russische Forscher die zugehörige Zivilisation aus der Bronzezeit: Die Bewohner der aus Lehmziegeln gebauten Festungen pflanzten auf künstlich bewässerten Feldern Weizen und Gerste an, hüteten Schafe und Ziegen, verwendeten Bronzeäxte, dünne Keramik, Alabaster, Knochenschnitzereien, Goldschmuck sowie Halbedelsteine und gaben ihren wohlhabenden Verwandten Luxusgüter mit ins Grab. Bei neueren Untersuchungen durch ein internationales Team stieß Fredrik Hiebert von der University of Pennsylvania in Philadelphia nun in einem ehemaligen Verwaltungsgebäude auf das kleine Siegel. Es wurde vermutlich benutzt, um den Inhalt oder Eigentümer von Gefäßen und Paketen zu kennzeichnen. Möglicherweise lag die Festung an einem alten Handelsweg (etwa 2000 Jahre später verlief hier die Seidenstraße). Doch der Aufstieg und Fall dieser offensichtlich nur wenige Jahrhunderte bestehenden hoch entwickelten Kultur bleibt vorerst rätselhaft.

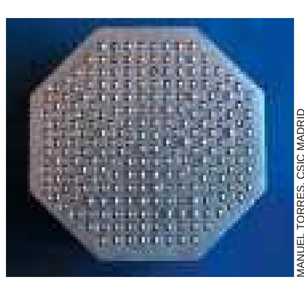

MUSEUM OF ARCHAEOLOGY AND ANTHROPOLOGY, UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA

4300 Jahre alter Stempel mit bisher unbekannter Schrift aus Südrussland

AKUSTIK

Gespaltene Schallwellen

Während Licht mit Spiegeln, Filtern, Linsen und Gittern beliebig manipuliert werden kann, lassen sich Schallwellen längst nicht so gezielt beeinflussen. Umso bemerkenswerter ist eine Vorrichtung, die Physiker um Manuel Torres vom Consejo Superior de Investigaciones Cientificas in Madrid entwickelt haben: ein „Strahlteiler" für Schallwellen. Er besteht aus einem Muster von Löchern auf einer achteckigen Aluminiumplatte. Diese sind mit Quecksilber gefüllt und in vier Schachbrettmustern angeordnet, die keilförmig aneinander grenzen und jeweils um 45 Grad gegeneinander verkippt sind. In einem solchen Gitter können sich Schallwellen bestimmter Frequenzen nur längs der Lochreihen ausbreiten. An der Grenze zwischen den keilförmigen Bereichen wechseln sie in das Nachbarmuster. Dabei spalten sie sich in zwei Teilwellen auf, die jeweils im Winkel von 45 Grad gegenüber der Ursprungsrichtung nach links und rechts weiterlaufen. Mit dem Bauteil lassen sich akustische Filter realisieren, die Schall bestimmter Frequenzen umlenken und damit ausblenden. *(Physical Review Letters, Bd. 86, S. 4282)*


MANUEL TORRES, CSIC MADRID

Diese Aluminiumplatte mit raffiniertem Lochmuster kann Schallwellen teilen.

GEOLOGIE

Uralter Meeresboden neben Chinesischer Mauer

An einem Flusslauf unterhalb der Chinesischen Mauer haben Timothy Kusky von der Universität St. Louis und Jiang-Hai Li von der Universität Beijing 2,5 Milliarden Jahre alte Gesteine gefunden, die einst Teil des Ozeanbodens waren. Normalerweise taucht eine ozeanische Platte, die mit einem Kontinent kollidiert, unter diesen ab, weil ihr Gestein ein höheres spezifisches Gewicht hat. Manchmal aber bleibt ein Stück von ihr am Kontinentalrand hängen. Diese an Kontinenten gestrandeten Gesteine marinen Ursprungs bezeichnet man als Ophiolithe. Die bisher ältesten bekannten Vertreter sind knapp zwei Milliarden Jahre alt und wurden in Kanada und Finnland gefunden. Der jetzt 250 Kilometer nordöstlich von Beijing entdeckte Dongwanzi-Ophiolith stellt damit einen neuen Rekord auf. Er beweist zugleich, dass es vor 2,5 Milliarden Jahren schon plattentektonische Vorgänge gab. Weil das Leben auf der Erde vielleicht in heißen Quellen am Meeresgrund entstand, hoffen die Forscher nun, in dem Fels Hinweise auf frühe Organismen zu finden. Kontinentale Gesteine enthalten immerhin bis zu 3,8 Milliarden Jahre alte Lebensspuren. *(Science, Bd. 292, S. 1142)*


TIMOTHY KUSKY

Im Flusstal zu Füßen der Chinesischen Mauer (auf dem Bergkamm im Hintergrund) erstreckt sich einstiger Meeresboden.

ZOOLOGIE

Wenn die Amsel klingelt

Ob im Zug, auf der Straße oder gar im Konzertsaal: Wo Menschen sind, ertönt heutzutage unweigerlich auch Handygeklingel. In Dänemark und Großbritannien kann das penetrante Geräusch nun aber auch dem einsamen Wanderer in Wald und Flur von den Bäumen entgegenschallen. Urheber ist nicht etwa ein Tarzan auf dem neuesten Stand der Kommunikationstechnik – die Töne stammen von einem Singvogel. „Vögel haben immer schon mechanische und elektronische Töne nachgeahmt", meint Mike Everett von der britischen Royal Society for the Protection of Birds. Nicht nur junge Burschen, auch Vogelmännchen versuchen eben, ihrer Liebsten mit immer neuen Lauten zu imponieren. Dabei gilt: je ausgefallener das akustische Signal, desto größer die Chancen beim anderen Geschlecht. Ob kunstvolles Pfeifen, quietschende Bremsen oder dröhnende Motoren – der Rivale soll beeindruckt weichen und die Auserwählte interessiert näher kommen. Noch imitieren die Vögel nur das einfache Handyklingeln. Aber es kann eigentlich nicht lange dauern, bis sie auch kompliziertere Melodien beherrschen und den Naturfreund mit bekannten Ohrwürmern von Mozart bis Madonna traktieren.

Das Wüten der WELTRAUM

Zuverlässig hält das Magnetfeld der Erde die gefährliche Strahlung aus dem Weltraum von uns fern. Doch mitunter speit die unruhige Sonne derart energiereiche Teilchenschwaden aus, dass der irdische Schutzschirm aufs heftigste durchgeschüttelt wird.

Von James L. Burch

Das Unwetter begann an einem Tag, der für seine gewaltsamen Ereignisse bekannt ist: am Jahrestag der Erstürmung der Bastille, des Beginns der Französischen Revolution. Am Morgen des 14. Juli 2000 entdeckte das Space Environment Center in Boulder (Colorado) das erste Warnzeichen, geliefert vom Satelliten GOES-8, der die Röntgenstrahlung der Sonne ebenso wie das Wetter auf der Erde überwacht. Um 10:03 Uhr Weltzeit (12:03 Uhr MESZ) registrierten die Wetterwächter einen scharfen Anstieg der Röntgenstrahlung aus der Aktivitätsregion 9077, einer Zone auf der Sonnenoberfläche, die schon die ganze Woche unruhig gewesen war. Hier brach jetzt offensichtlich ein Flare los, eine kurze, aber heftige Eruption in der oberen Atmosphäre der Sonne.

Denselben Flare, der um 10:24 Uhr Weltzeit seine größte Intensität erreichte, registrierte auch der Satellit SOHO *(Solar and Heliospheric Observatory)*, der zwischen Sonne und Erde stationiert ist, rund 1,5 Millionen Kilometer von unserem Heimatplaneten entfernt. Eine halbe Stunde später – der Flare verblasste bereits wieder – beobachtete SOHO ein noch drohenderes Phänomen: eine helle, größer werdende Wolke, die sich wie ein Heiligenschein oder Halo um die Sonnenscheibe legte. Es handelte sich um einen koronalen Massenauswurf, bei dem die Korona – die äußerste, bis weit in den Weltraum hineinreichende Atmosphärenschicht der Sonne – Milliarden Tonnen elektrisch geladener Teilchen in den Raum hinaus schleudert. Das haloartige Aussehen der Wolke bedeutete, dass die Partikel genau auf die Erde zuschossen, mit einer Geschwindigkeit von schätzungsweise 1700 Kilometern pro Sekunde.

Während der riesige Teilchenschauer durch den langsameren Sonnenwind pflügte, einen ständig von der Sonne abströmenden Fluss aus elektrisch geladenen Teilchen, bildete sich eine Stoßwelle aus: Diese beschleunigte manche der geladenen Partikel auf noch höhere Geschwindigkeiten. Nach weniger als einer Stunde traf deshalb ein Schwall hochenergetischer Protonen auf SOHO und überfrachtete die Messinstrumente des Satelliten. Auf die Solarzellen prasselte innerhalb von 24 Stunden eine Teilchenmenge ein wie sonst innerhalb eines ganzen Jahres. Aber diese heftige Dusche war nur ein Vorbote: Am nächsten Tag traf die Stoßwelle ein. Um 14:37 Uhr Weltzeit rammte sie das Magnetfeld der Erde. Damit brauste ein heftiger geomagnetischer Sturm los, der seine volle Wucht ein paar Stunden später entfaltete, als auch der koronale Massenauswurf selbst die Erde erreichte. Nach der Messskala des Space Environment Center war es der stärkste geomagnetische Sturm im letzten Jahrzehnt.

Die meisten Leute auf der Erde merkten indes nichts von dem himmlischen Tosen. Nur wenige Wissenschaftler verfolgten den Sturm akribisch. Zu den Messinstrumenten, die eigens zu ▶

MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG: NASA/ESA, SOHO/LASCO CONSORTIUM

STÜRME

Die unruhige Sonne: Ein gewaltiger Ausbruch in der äußeren Atmosphäre der Sonne schleuderte am 8. November 2000 mehrere Milliarden Tonnen geladener Partikel in den Weltraum. Die Aufnahme stammt vom Sonnenbeobachtungssatelliten SOHO. Das Messinstrument des Satelliten deckt die direkte Sonnenumgebung mit einer Blende ab (schwarzer Kreis), um eine Überstrahlung der weniger hellen Atmosphäre zu vermeiden. Der Durchmesser der Sonne ist durch den weißen Kreis angedeutet.

diesem Zweck auf der Erde und im Weltraum installiert waren, gehörte auch der Satellit IMAGE (*Imager for Magnetopause-to-Aurora Global Exploration)*, den die amerikanische Luft- und Raumfahrtbehörde Nasa erst vier Monate zuvor gestartet hatte. IMAGE ist der erste Satellit, der Bilder der gesamten Magnetosphäre aufnehmen kann, also von dem Bereich um die Erde, der von ihrem Magnetfeld beherrscht wird. Durch die globale Erfassung der magnetosphärischen Aktivität leistet er für den Weltraum, was die ersten Wettersatelliten für die Vorgänge in der Erdatmosphäre taten.

Im Jahre 1996 hatte mich die Nasa als Leiter eines Teams ausgewählt, das den IMAGE-Satelliten entwickeln und seine Daten auswerten sollte. Während des Sturms am französischen Nationalfeiertag erhielten wir nun erstaunliche Aufnahmen von Ionen, die um die Erde schwirrten, und von brillanten Polarlichtern, die durch das Auftreffen geladener Teilchen auf die Hochatmosphäre entstanden. Die Auswertung der Daten wird klären helfen, wie koronale Massenauswürfe und der Sonnenwind mit der Magnetosphäre der Erde wechselwirken. Auch praktische Anwendungen ergeben sich daraus: Weltraumstürme können nämlich Satelliten beschädigen, Astronauten gefährden und sogar irdische Stromnetze lahm legen (siehe Kasten unten). Der hier beschriebene Sturm hat letztlich den Verlust des japanischen Röntgensatelliten ASCA verursacht: Durch den Teilchenbeschuss dehnte sich die Erdatmosphäre aus, und der dadurch angestiegene Luftwiderstand auf der Bahn des Satelliten bremste diesen stärker als vorgesehen ab, sodass er schließlich im März dieses Jahres in der Atmosphäre verglühte. Um künftig besser gewappnet zu sein, möchten die Wissenschaftler gerne die Genauigkeit von Weltraumwetter-Vorhersagen verbessern.

Magnetosphäre als Schutzschirm

Ebenso wie das Wetter auf der Erde ist auch das Weltraumwetter starken Schwankungen unterworfen. Innerhalb weniger Minuten können die Bedingungen von ruhig auf stürmisch umschlagen, und Stürme können stunden- oder tagelang anhalten. Und so wie das irdische Wetter mit den Jahreszeiten wechselt, folgt auch das Weltraumwetter seinen eigenen Zyklen. Die magnetische Aktivität der Sonne, die solche Eruptionen wie Flares und koronale Massenauswürfe verursacht, steigt und fällt etwa alle elf Jahre, und deshalb folgen die geomagnetischen Stürme demselben Muster. So ereignete sich der Sturm vom 14. Juli 2000 während eines Maximums des Aktivitätszyklus. Auch mit der 27-tägigen Rotation der Sonne sind periodische Schwankungen des Weltraumwetters – allerdings nicht so ausgeprägt – zu beobachten, weil die Geschwindigkeit des an der Erde vorbeiströmenden Sonnenwindes ansteigt und wieder abflaut.

Das Weltraum- und das irdische Wetter werden freilich durch gänzlich unterschiedliche physikalische Vorgänge bestimmt. Das Wettergeschehen auf der Erde spielt sich in der unteren Atmosphäre ab, also in einem dichten, elektrisch neutralen Gas, das von den Gesetzen der Gas- und Thermodynamik beherrscht wird. Das Medium des Weltraumwetters hingegen ist ein Plasma, ein Gas sehr geringer Dichte, das aus einer gleichen Anzahl positiv geladender Ionen und negativ geladener Elektronen besteht. Im Gegensatz zu den neutralen Atomen und Molekülen der Atmosphäre werden die Partikel im Plasma in ihrer Bewegung von elektrischen und magnetischen Feldern beeinflusst.

Treibende Kraft für das irdische Wetter ist die Sonnenstrahlung, die Atmosphäre, Ozeane und Landmassen aufheizt. In der Magnetosphäre jedoch entsteht das Wetter aus der Wechselwirkung zwischen dem Magnetfeld der Erde und dem Sonnenwind. Letzterer hat sein eigenes Magnetfeld, das mit dem Plasma in den interplanetaren Raum hinausströmt. Dabei strecken sich die Feldlinien gewöhnlich aus, sodass sie schließlich radial von der Sonne fort oder zu ihr hin zeigen. Unter bestimmten Bedingungen jedoch können sich die Feldlinien aus der Äquatorebene der Sonne heraus neigen und eine nord- oder südwärts gerichtete Komponente erhalten. Während des eingangs erwähnten Sturms zum Beispiel waren die Feldlinien mehrere Stunden lang südwärts gerichtet.

Der Sonnenwind besteht überwiegend aus Protonen, die 80 Prozent seiner Masse ausmachen. Heliumkerne steuern weitere 18 Prozent bei; schwerere Ionen sind nur in Spuren vorhanden. Die mittlere Dichte des Sonnenwinds in der Nähe der Erde beträgt neun Protonen pro Kubikzentimeter, die mittlere Geschwindigkeit 470 Kilometer pro Sekunde und die mittlere Stärke sechs Nanotesla, was 1/5000 der Stärke des Magnetfelds der Erde an deren Oberfläche entspricht. Diese Eigenschaften des Sonnenwinds sind allerdings stark variabel, ebenso wie die Orientierung des interplanetaren Magnetfelds – und genau das erklärt letztlich die Dynamik des Weltraumwetters.

Alle Körper des Sonnensystems sind dem Sonnenwind ausgesetzt, der erst weit außerhalb der Pluto-Bahn auf das Gas des interstellaren Raumes trifft. Weil die Erde aber von ihrem Magnetfeld umgeben ist, das wie ein Schutzschild wirkt, können die Partikel des Sonnenwinds nicht direkt auf die Atmosphäre unseres Heimatplaneten treffen. Unter dem Einfluss des Teilchenstroms verformt sich die irdische Magnetosphäre. Auf der sonnenzugewandten Seite ist sie eingedrückt, während sie auf der abgewandten Seite zu einem langen Schweif, ähnlich wie bei einem Kometen, auseinander gezogen ist. Dieser Magnetfeld- oder Magnetosphä-

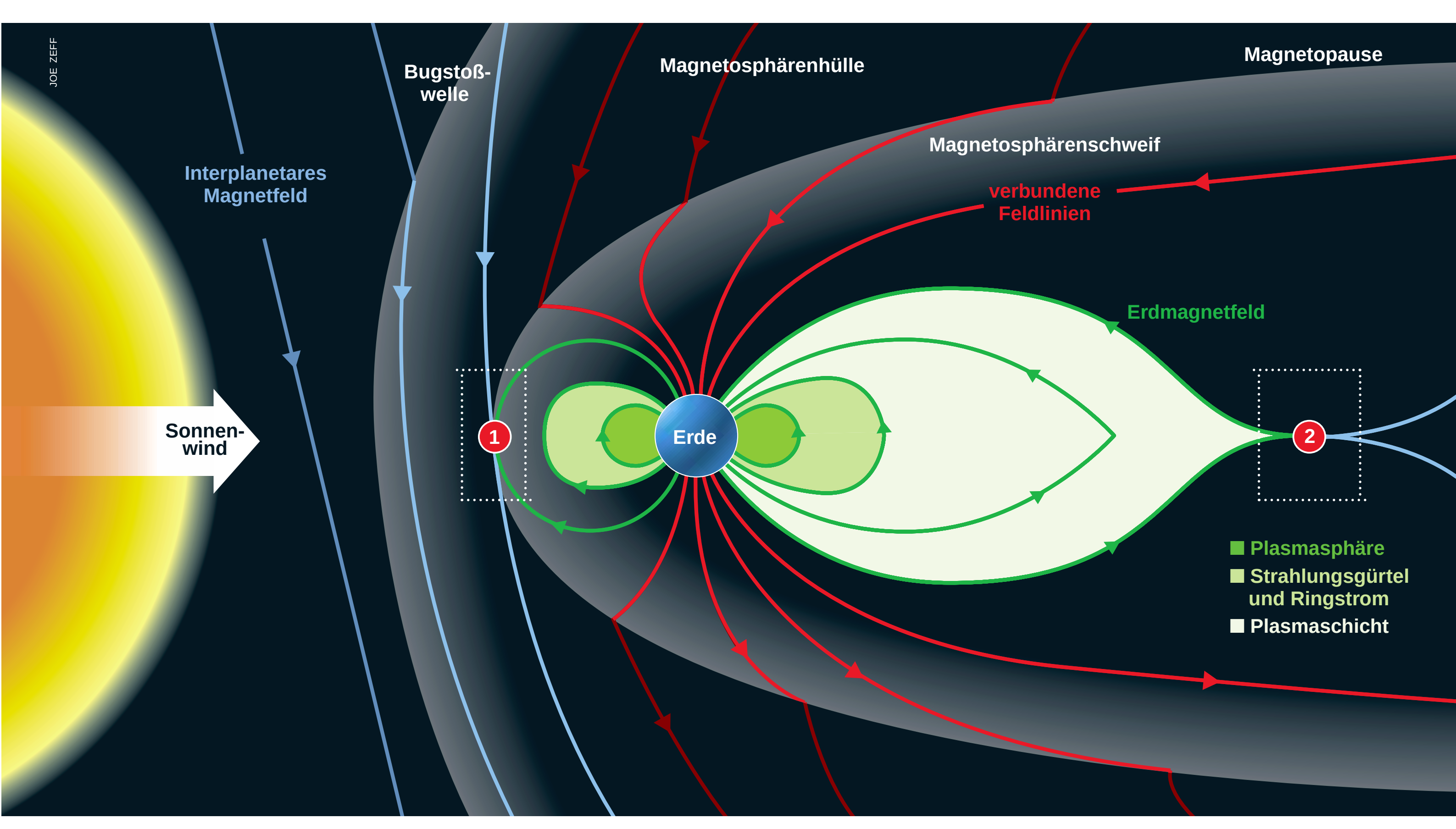
Die Auswirkungen von Weltraumstürmen

Während geomagnetischer Stürme wirbeln geladene Teilchen um die Erde und bombardieren ihre obere Atmosphäre, besonders in höheren Breiten. Die Teilchenschauer können erhebliche Auswirkungen haben auf:

➤ **Das Stromnetz.** Die erdwärts fliegenden Schauer aus Elektronen erzeugen in der oberen Atmosphäre einen starken Strom. Dieser so genannte Aurora-Elektrojet löst Fluktuationen im Erdmagnetfeld aus, die wiederum Spannungsstöße in Überlandleitungen induzieren können. Während eines schweren geomagnetischen Sturms am 13. März 1989 legte ein solcher Spannungsstoß das Stromnetz von Hydro-Quebec lahm, und große Teile Kanadas versanken in Dunkelheit.

➤ **Satelliten.** Wenn geladene Teilchen einen Satelliten treffen, lädt sich seine Oberfläche elektrisch auf, was zu Kurzschlüssen in der Bordelektronik führen kann. Zudem erwärmen Weltraumstürme die Erdatmosphäre, wodurch sie sich weiter ausdehnt. Satelliten in einem niedrigen Erdorbit sind dadurch einer stärkeren Bremsung durch die Atome und Moleküle der Atmosphäre ausgesetzt. Dadurch wiederum geraten sie in noch niedrigere Umlaufbahnen, in denen die Reibung weiter zunimmt, bis sie schließlich abstürzen – das vorzeitige Ende der Raumstation Skylab 1979 hatte diese Ursache.

➤ **Astronauten.** Ein schwerer Sturm kann Protonenschauer hervorrufen, die Raumanzüge und sogar die Wände der Internationalen Raumstation durchdringen können. Um ihre Astronauten zu schützen, überwacht die Nasa das Weltraumwetter: Wenn ein erwarteter Sturm ein Risiko darstellen könnte, würden Ausstiege in den freien Raum verschoben oder die Astronauten sogar angewiesen, sich in besonders gut geschützte Bereiche der Station zurückzuziehen – so geschehen im November 2000, kaum dass die erste Stammbesatzung eingezogen war.



Schutzschirm der Erde:
Störungen in der Magnetosphäre treten auf, wenn das interplanetare Magnetfeld, das mit dem Sonnenwind transportiert wird, eine südliche Orientierung einnimmt. In der mit (1) markierten Zone auf der Tagseite der Magnetopause schließen sich die Feldlinien des interplanetaren Magnetfeldes mit denen des nordwärts gerichteten Erdmagnetfeldes kurz. Energie und geladene Teilchen aus dem Sonnenwind strömen dann in die Magnetosphäre, dehnen sie aus und drücken die Plasmaschicht zusammen. In der Folge schnüren sich die Feldlinien des Erdmagnetfelds selbst zusammen (2), wodurch Ionen und Elektronen in einer Art Gegenstrom in Richtung Erde beschleunigt werden.

renschweif erstreckt sich über mehr als eine Million Kilometer weit in den Raum, also weit über die Mondbahn hinaus.

Zwischen dem Sonnenwind und der Magnetosphäre liegt eine dünne Grenzschicht, die Magnetopause: Hier gleicht der Druck des Erdmagnetfelds den des Sonnenwinds gerade aus. Auf der Tagseite der Erde liegt diese Grenze normalerweise etwa 64 000 Kilometer vor dem Zentrum unseres Planeten, doch ihr Abstand schwankt mit dem Druck des Sonnenwinds: Nimmt dieser zu, dann rückt sie näher an die Erde heran, manchmal bis auf 26 000 Kilometer.

Wie bei einem Düsenflugzeug, das mit Überschallgeschwindigkeit durch die Atmosphäre rast, bildet sich beim Auftreffen des Sonnenwinds auf die irdische Magnetosphäre eine Bugstoßwelle aus: Sie liegt etwa 13 000 Kilometer vor der Magnetopause. In der Region zwischen Bugstoßwelle und Magnetopause – der Magnetosphärenhülle – ist das Plasma langsamer, heißer und turbulenter als näher an der Sonne.

Messungen mit Satelliten haben ergeben, dass sich in der unmittelbaren Umgebung der Erde das Plasma aus der Magnetosphärenhülle (überwiegend Protonen) mit demjenigen mischt, das aus der Hochatmosphäre über den Erdpolen strömt (vorwiegend Protonen und Sauerstoffionen). Das Mischungsverhältnis ist dabei vom jeweiligen Zustand der Magnetosphäre abhängig. Während eines geomagnetischen Sturms bombardieren geladene Teilchen die Erde in hohen geografischen Breiten. Dadurch fließen elektrische Ströme, welche die Hochatmosphäre aufheizen und noch mehr Protonen und Sauerstoffionen in die Magnetosphäre pumpen. Dieses Plasma landet in einer Art Speicher, der so genannten Plasmaschicht, die sich Zehntausende Kilometer weit auf der Nachtseite der Erde erstreckt; auch Plasma aus dem Sonnenwind, das in die Magnetosphäre eingedrungen ist, sammelt sich hier.

Kurzschluss im Magnetfeld

Die zentrale Frage lautet nun: Wie beeinflussen Veränderungen im Sonnenwind die Bedingungen im Raum rund um die Erde? Oder anders ausgedrückt: Wie kann der Wind die Barriere des Erdmagnetfelds überwinden und Bewegungen des Plasmas im Innern der Magnetosphäre antreiben?

Eine Antwort hat Frank Johnson von der Lockheed Missiles and Space Division bereits 1960 vorgeschlagen. Nach seiner Hypothese ist die Magnetosphäre prinzipiell geschlossen, sodass der Sonnenwind Energie und Impuls nur über Wellenbewegungen entlang der Magnetopause in das erdnahe Plasma einbringen kann. Die Bewegungen würden dabei durch die unterschiedliche Zähigkeit der Plasmen im Sonnenwind und in der Magnetosphäre hervorgerufen, ähnlich den Wellen, die darüber wehender Wind auf einer Wasserfläche erzeugt. Wellen entlang der Magnetopause gibt es tatsächlich – aber sie scheinen nicht in der Lage zu sein, die großräumige Zirkulation der Magnetosphäre oder ihre häufigen großen Störungen anzutreiben. Solche Wellen würden wohl auch keinen effizienten Eintritt des Sonnenwindplasmas in die Magnetosphäre erlauben.

Ein anderer Mechanismus, den der britische Physiker James W. Dungey 1961 vorgeschlagen hat, gilt generell als bessere Erklärung. Demnach sollen sich auf der Tagseite der Magnetopause die Feldlinien des interplanetaren und dieje- ▶

nigen des irdischen Magnetfeldes zeitweise verbinden (Grafik auf Seite 33). An dieser Berührungsstelle könnte der Sonnenwind große Mengen Plasma und magnetische Energie in die Magnetosphäre hinein übertragen.

Diese Kopplung der Feldlinien ist am effektivsten, wenn das interplanetare Magnetfeld eine südwärts gerichtete Komponente aufweist, genau entgegengesetzt dem immer nordwärts gerichteten Erdmagnetfeld auf der Tagseite. Dann verbinden sich die Feldlinien entlang einer breiten Zone entlang des Äquators, und nahezu die gesamte Luvseite der Magnetosphäre öffnet sich dem Sonnenwind. Auch bei anderer Orientierung des interplanetaren Feldes ist eine Kopplung möglich, doch beschränkt sie sich dann meist auf höhere Breiten, wo die freigesetzte Energie größtenteils um die Magnetosphäre herum fließt und nicht in sie hinein.

Durch die Aufnahme magnetischer Energie aus dem Sonnenwind verändert sich die Gestalt der Magnetosphäre erheblich. Wenn sich an der Tagseite der Magnetopause die Feldlinien des interplanetaren und des irdischen Magnetfeldes vereinigt haben, werden sie vom Sonnenwind über die Erdpole geweht, und Energie strömt in die nördlichen und südlichen Bereiche des langen Magnetfeldschweifs auf der Nachtseite. Dadurch schwellen diese Bereiche an, während die Plasmaschicht zwischen ihnen eingedrückt wird. Das geht so lange weiter, bis sich die gegensätzlich verlaufenden Feldlinien der nördlichen und südlichen Bereiche berühren und es auch hier zu einer Verschmelzung kommt (Grafik auf Seite 33).

Magnetische Substürme

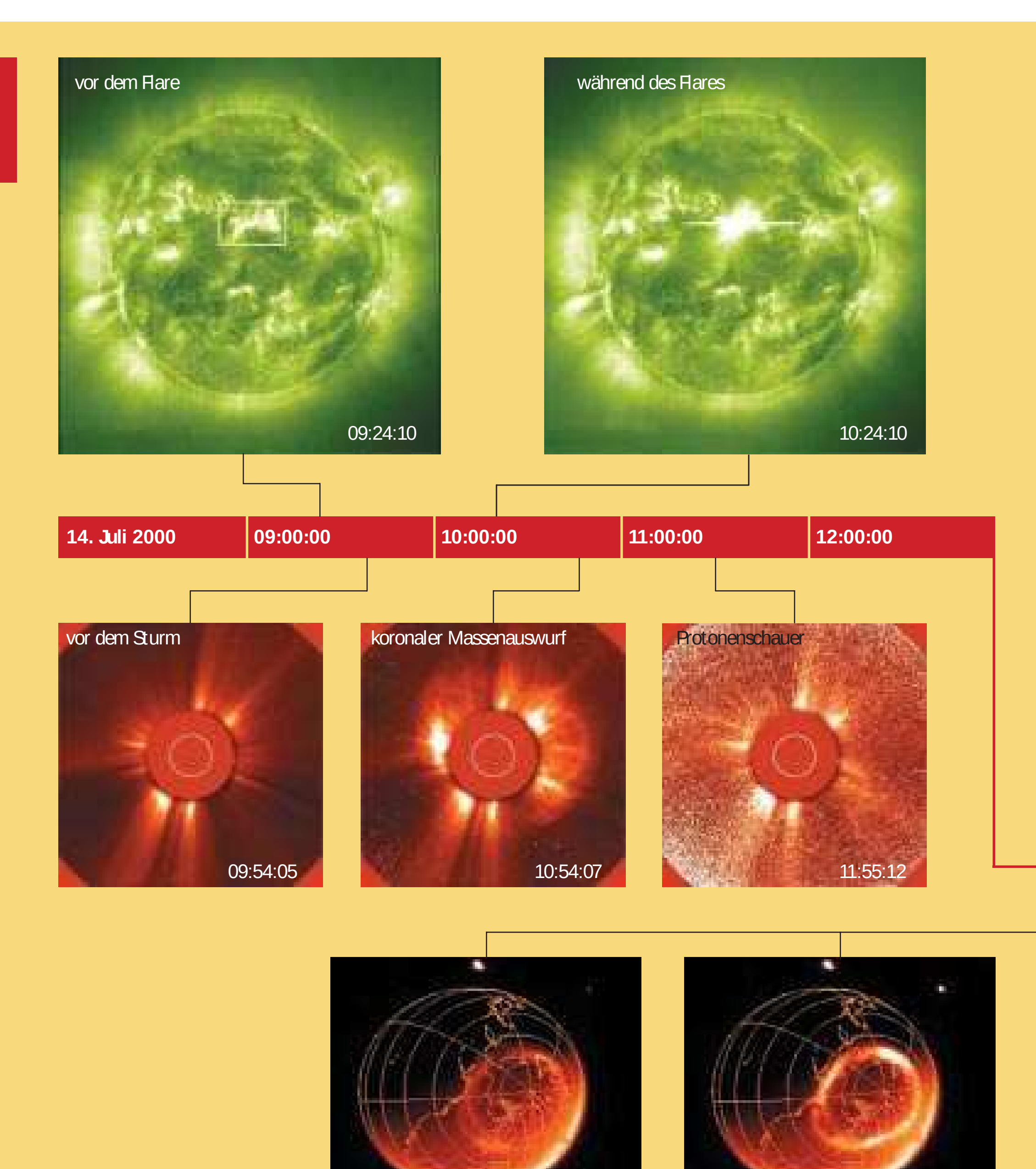
Der „Kurzschluss" hat nun zur Folge, dass an dieser Stelle die Feldlinien des mit dem Sonnenwind transportierten Magnetfelds abgeschnürt werden. Dadurch trennt sich ein Plasmatropfen von der Magnetosphäre ab, der mit dem Sonnenwind weiter stromabwärts treibt. Gleichzeitig schnappen die Feldlinien des Erdfeldes, die sich immer weiter in den Schweif hinein gebogen hatten, zurück in ihre normale Gestalt. Diese abrupte Bewegung der Feldlinien erhitzt

Chronologie eines Sonnensturms

Der heftige Sonnensturm vom 14. Juli 2000 kündigte sich zunächst durch einen gewaltigen Gasausbruch in der oberen Sonnenatmosphäre an. Dieser so genannte Flare entstand in der Aktivitätsregion 9077 (im weißen Rahmen), die sich auf den Aufnahmen des *Extreme Ultraviolet Imaging Telescope* auf dem Satelliten SOHO (obere Bildreihe) als helle Fläche abzeichnete. Ungefähr zur selben Zeit registrierte der Koronograph an Bord des Satelliten einen koronalen Massenauswurf, der das Messgerät bald mit energiereichen Protonen überschüttete und quasi übersättigte (mittlere Bildreihe).

Am nächsten Tag prallten die Stoßwelle und der koronale Massenauswurf auf das Magnetfeld der Erde, wo sie starke Polarlichter ebenso auslösten – hier fotografiert von der *Wideband Imaging Camera* auf dem Satelliten IMAGE (untere Bildreihe) – wie einen scharfen Abfall der Feldstärke des Erdmagnetfelds an der Oberfläche (Diagramm auf der rechten Seite).

In diesem Diagramm entspricht null der normalen Feldstärke an der Erdoberfläche. Im weiteren Verlauf des Sturms verfolgte das *High Energy Neutral Atom-Instrument* von IMAGE das Anschwellen und Abflauen des Ringstroms um den Erdäquator (obere Bildreihe rechts).

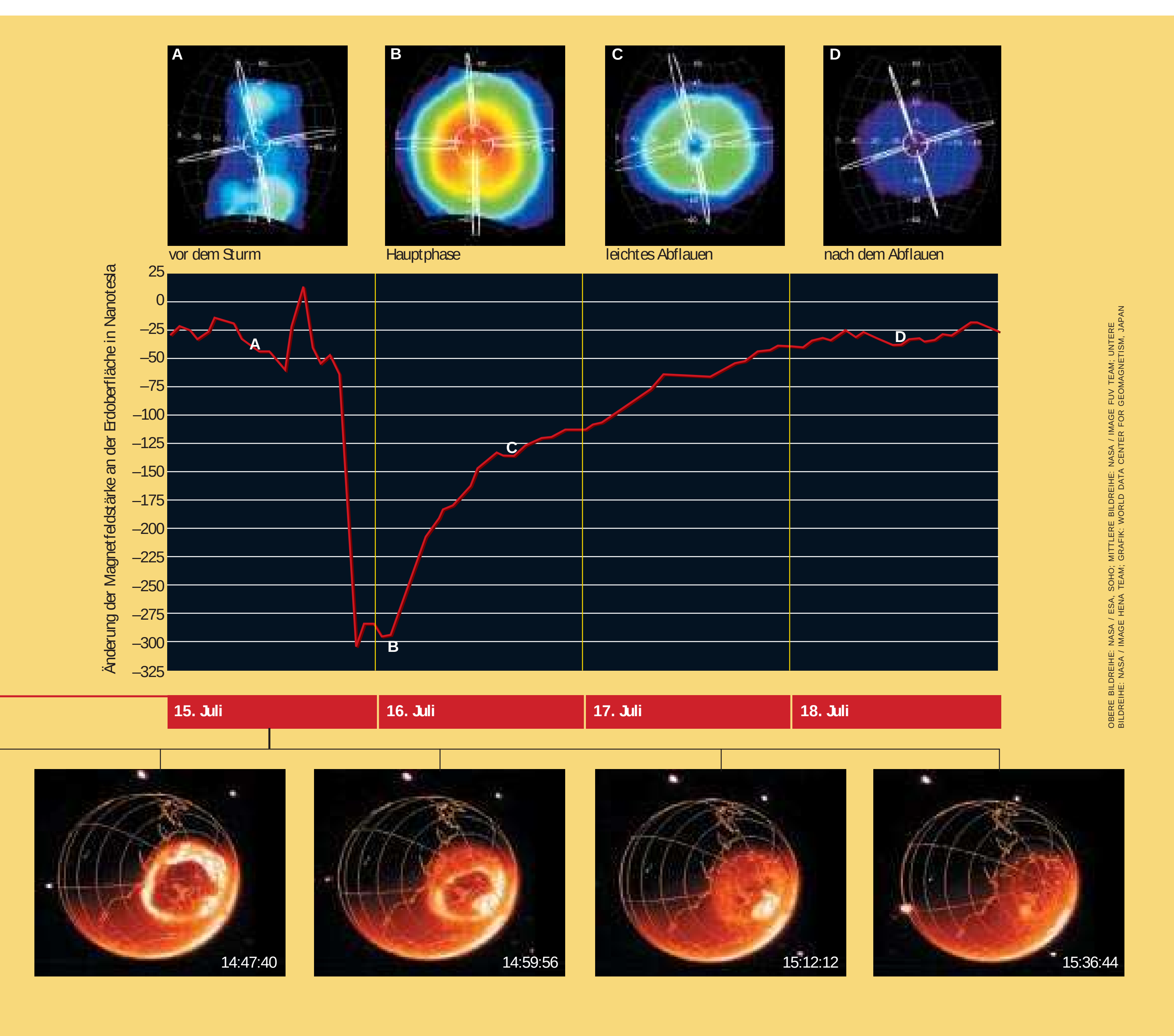


und beschleunigt die Elektronen und Ionen in der Plasmaschicht und treibt sie in den inneren Bereich der Magnetosphäre hinein. Einige dieser Teilchen dringen dann entlang der Feldlinien des Erdfelds in die Hochatmosphäre über den Polen ein. Dort stoßen sie mit Sauerstoffatomen und Stickstoffmolekülen zusammen und lösen Polarlichter aus, die bei allen Wellenlängen leuchten, vom Röntgenbereich über sichtbares Licht bis in den Radiofrequenzbereich. Die gesamte Folge von Ereignissen, von der Verschmelzung der Feldlinien auf der Tagseite über diejenige auf der Nachtseite bis zu den Polarlichtern, nennen die Wissenschaftler einen magnetischen Substurm.

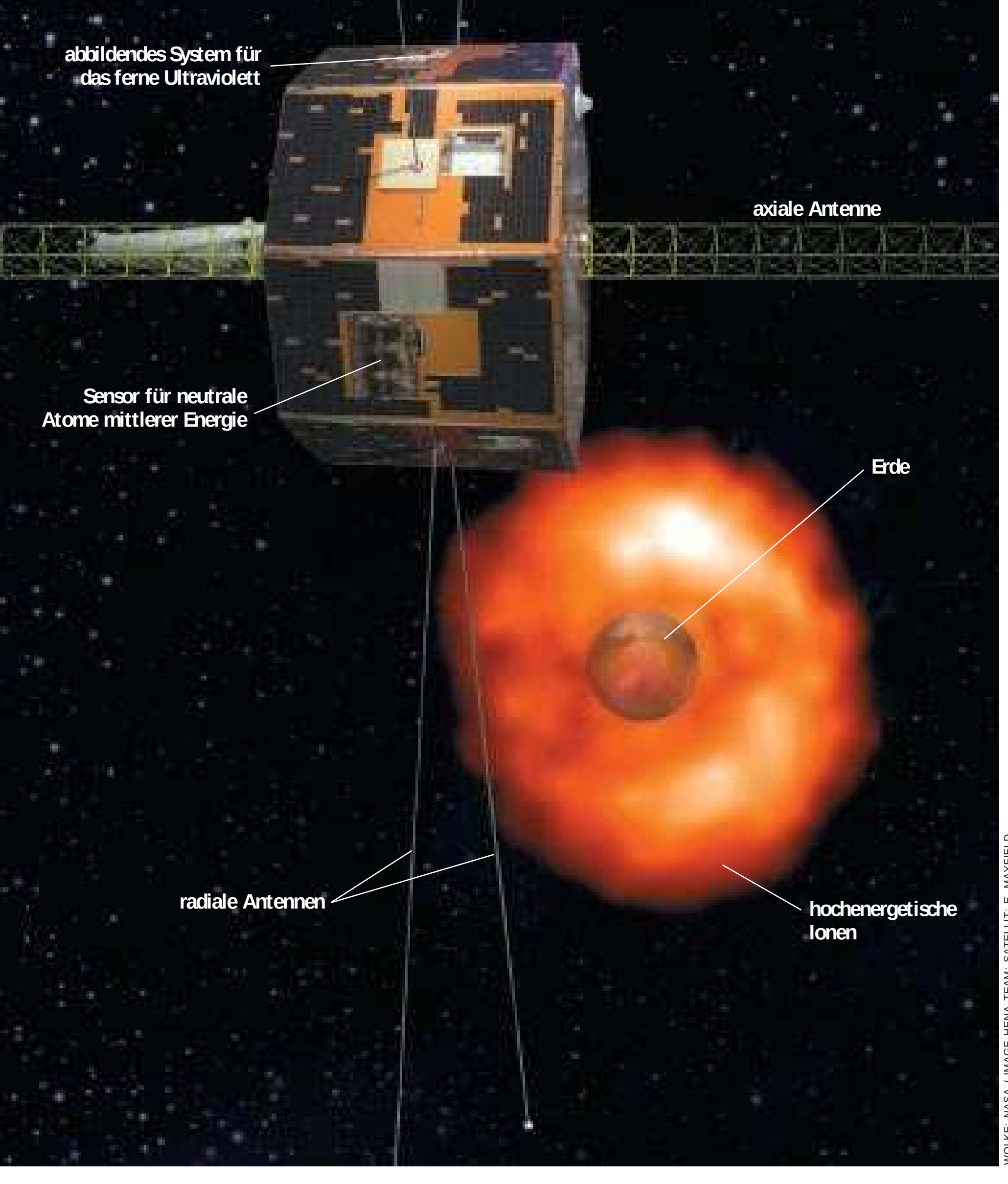
Die Verschmelzung der Feldlinien auf der Tagseite leitet nicht nur magnetische Energie in den Magnetosphärenschweif, sie verstärkt auch das elektrische Feld quer zu ihm. Das stärkere Feld wiederum erhöht den Fluss von Ionen und Elektronen aus der Plasmaschicht in die innere Magnetosphäre. Und dieser Fluss führt in einen Ringstrom aus geladenen Teilchen, die in 6400 bis 38000 Kilometer Höhe über dem Äquator die Erde umrunden. Hält ein Substurm länger an – was dann der Fall ist, wenn das interplanetare Magnetfeld südwärts gerichtet bleibt – nehmen Anzahl und Energie der Teilchen im Ringstrom erheblich zu. Gelegentlich können die Substürme auch in rascher Folge auftreten und auf diese Weise die Teilchendichte im Ring erhöhen. Jedenfalls ist das Ansteigen des Ringstroms das klassische Merkmal für einen voll ausgeprägten geomagnetischen Sturm.

Das interplanetare Magnetfeld orientiert sich recht häufig südwärts, sodass magnetische Substürme nichts Ungewöhnliches sind: Im Mittel treten sie mehrmals am Tag auf und dauern ein bis drei Stunden. Große geomagnetische Stürme wie der am 14. Juli 2000 sind hingegen weit seltener. Sie treten bevorzugt um die Zeit des Aktivitätsmaximums im elfjährigen Sonnenzyklus auf.

Bis Anfang der neunziger Jahre galten Flares allgemein als Auslöser geomagnetischer Stürme. Doch einige Wissenschaftler trugen nach und nach Hinweise zusammen, die auf eine andere Ursache hinwiesen. John T. Gosling vom Los-Alamos-Nationallaboratorium veröffent- ▶



OBERE BILDREIHE: NASA / ESA, SOHO; MITTLERE BILDREIHE: NASA / IMAGE FUV TEAM; UNTERE BILDREIHE: NASA / IMAGE HENA TEAM; GRAFIK: WORLD DATA CENTER FOR GEOMAGNETISM, JAPAN



Wetterwächter im All:
Der Satellit IMAGE in einer künstlerischen Darstellung über einer Wolke aus hochenergetischen Ionen, die unseren Heimatplaneten umgibt. Die Struktur der Wolke erfasst der Satellit mittels der beiden zehn Meter langen axialen und der beiden 250 Meter langen radialen Antennen. Auch wenn der Satellit selbst nur 2,25 Meter breit ist, so machen ihn die Antennen zu einem der größten Sensoren, die je im Weltraum geflogen sind.

lichte schließlich 1993 einen Artikel im „Journal of Geophysical Research", in dem er alle Indizien zusammentrug und erstmals die zentrale Rolle der koronalen Massenauswürfe als Auslöser der großen geomagnetischen Stürme hervorhob. Wodurch diese riesigen Plasmaschwaden ausgestoßen werden, ist immer noch nicht genau bekannt. Vermutlich trägt eine Umlagerung der magnetischen Feldlinien in der Sonnenkorona dazu bei. Meistens, aber nicht immer, treten koronale Massenauswürfe gemeinsam mit Flares auf.

Indes lösen nicht alle koronalen Massenauswürfe geomagnetische Stürme aus. Die meisten zielen gar nicht in Richtung Erde. Aber auch von denen, die auf uns gerichtet sind, ist nur jeder sechste stark genug, um einen Sturm zu entfachen. Wichtigstes Kriterium hierfür ist, dass sich die Massenauswürfe mit höherer Geschwindigkeit bewegen als der Sonnenwind: Denn nur dann bilden sich Stoßwellen aus, die wiederum für die Schauer energiereicher Teilchen und die starken Verformungen des Erdmagnetfeldes verantwortlich sind. Und vor allem presst ein schneller Massenauswurf den Sonnenwind vor sich zusammen, wodurch dort – wie auch im Frontbereich der Plasmaschwaden selbst – die Magnetfeldstärke ansteigt, und zwar in einer Weise, die die Feldlinien bevorzugt in Nord-Süd-Richtung kippt. Wenn dann das interplanetare Magnetfeld auf das Magnetfeld der Erde trifft, führt diese Orientierung zu einer effektiveren Verschmelzung der Feldlinien.

Es gibt noch eine schwächere Art geomagnetischer Stürme, die während der absteigenden Phase des Sonnenzyklus und nahe des Aktivitätsminimums auftreten. Diese Störungen, die in Phase mit der 27-tägigen Sonnenrotation wiederzukehren pflegen, gehen auf Wechselwirkungen zwischen dem schnellen Sonnenwind aus koronalen Löchern und langsamerem aus der Äquatorregion der Sonne zurück. Koronale Massenauswürfe spielen für die wiederkehrenden Stürme keine primäre Rolle, können aber ihre Intensität verstärken.

Der Start des Satelliten IMAGE im März 2000 hat der Forschung zum ersten Mal die Möglichkeit gegeben, die Entwicklung eines großen geomagnetischen Sturms minutiös und umfassend zu verfolgen. Der Satellit umrundet die Erde auf einer stark elliptischen, polaren Bahn in Höhen zwischen 1000 und 46 000 Kilometern. Von dieser Warte aus kann IMAGE einen Großteil der Magnetosphäre überblicken.

Alle Instrumente an Bord untersuchen das Plasma der Magnetosphäre, aber auf unterschiedliche Weise. Drei so genannte *Energetic Neutral Atom Imager* messen indirekt den Ionenfluss. Wenn zum Beispiel ein schnelles Sauerstoffion mit einem Wasserstoffatom der Magnetosphäre zusammenstößt, kann es gelegentlich dessen Elektron übernehmen. Das nun neutrale Sauerstoffatom wird jetzt nicht mehr vom Magnetfeld beeinflusst, sodass es sich auf einer geraden Bahn weiterbewegt. Die drei Instrumente registrieren Anzahl und Energie der neutralen Atome aus einer bestimmten Region, und aus den Daten können die Wissenschaftler Masse, Geschwindigkeit, Richtung und Dichte der Ionen in der Ursprungsregion bestimmen.

Andere Bordinstrumente überwachen Emissionen im ultravioletten Teil des Spektrums. Die Extrem-Ultraviolett-Kamera misst die Dichte einfach ionisierter Heliumatome in der Plasmasphäre – einer torusförmigen Region in der inneren Magnetosphäre, die Plasma geringer Energie enthält – über das UV-Licht der Sonne, das sie absorbieren und wieder abstrahlen. Das Fern-Ultraviolett-Kamerasystem besteht aus zwei Polarlicht-Kameras (der *Wideband Imaging Camera* und dem *Spectrographic Imager*) sowie dem Geokorona-Photometer, das die Strahlung neutraler Wasserstoffatome nachweist. Der *Radio Plasma Imager* schließlich sendet Radiopulse aus, die von Wolken geladener Teilchen zurückgeworfen werden. Das funktio-

niert wie bei einer Radarfalle: Die reflektierten Radiosignale enthalten Informationen über Richtung, Geschwindigkeit und Dichte der Plasmaschwaden.

Nach dem Sonnensturm am 14. Juli 2000 sah IMAGE die ersten Auswirkungen bereits weniger als zwei Minuten, nachdem die vom koronalen Massenauswurf getriebene Stoßwelle am 15. Juli das Erdmagnetfeld getroffen hatte. Die *Wideband Imaging Camera* sendete faszinierende Bilder der Nordlichter, die durch die Kompression des Feldes ausgelöst wurden (und die damals auch in Deutschland zu sehen waren). Sie zeigen, wie das Aurora-Oval über der Arktis plötzlich hell aufzuleuchten beginnt und wie eine Feuerwalze Richtung Nordpol rast (Kasten auf der vorherigen Doppelseite). Die Aurora war binnen einer Stunde wieder abgeklungen, flammte aber gegen 17:00 Uhr Weltzeit erneut auf, als eine zweite Stoßwelle eintraf. Mehrere heftige Substürme folgten, als Energie, die im Magnetosphärenschweif gespeichert war, explosionsartig in die Hochatmosphäre entlassen wurde. Substürme und dazugehörige Polarlichter hielten noch bis zum Morgen des 16. Juli an.

Während der Hauptphase des Sturms – vier Stunden nach seinem Beginn – fiel die Magnetfeldstärke auf der Erdoberfläche unvermittelt um 300 Nanotesla ab. Dieses Phänomen, das bei geomagnetischen Stürmen immer auftritt, ging auf das rasche Anwachsen des Ringstroms zurück. Die *Energetic Neutral Atom Imager* an Bord von IMAGE lieferten eindrucksvolle Aufnahmen dieser Strömung von Ionen und Elektronen um die Erde, als sie am 16. Juli ihr Maximum erreichte und dann wieder abflaute (Kasten auf der vorherigen Doppelseite). Sobald die Energiezufuhr aus dem Sonnenwind nachlässt, verlangsamt sich der Plasmafluss in die innere Magnetosphäre, und der Ringstrom verliert mehr Ionen, als er nachgeliefert bekommt. Mit dem Nachlassen des Stromes steigt die Magnetfeldstärke an der Erdoberfläche wieder auf ihren ursprünglichen Wert an – normalerweise binnen weniger Tage, aber nach sehr heftigen Stürmen kann es über einen Monat dauern.

Geomagnetische Stürme verändern auch die Gestalt der Plasmasphäre. Der verstärkte Zustrom von Plasma aus dem Magnetosphärenschweif erdwärts spült nämlich ihre geladenen Teilchen in Richtung der Magnetopause auf der Tagseite. Nach dem Abklingen eines Sturms wird die Plasmasphäre durch Ionen aus der Hochatmosphäre wieder aufgefüllt. Aus Modellrechnungen hatten die Wissenschaftler erwartet, dass die aus der Plasmasphäre entfernten und auf die Tagseite gelangten Teilchen einen langen Plasmaschweif bilden und schließlich vom Sonnenwind erfasst würden. Bilder der EUV-Kamera an Bord von IMAGE haben diese 30 Jahre alte Hypothese nun direkt bestätigt (Bild auf dieser Seite). Zugleich haben diese Aufnahmen aber auch Strukturen in der Plasmasphäre aufgespürt, die neue Fragen darüber aufwerfen, welche Prozesse in ihr nach magnetosphärischen Störungen ablaufen.

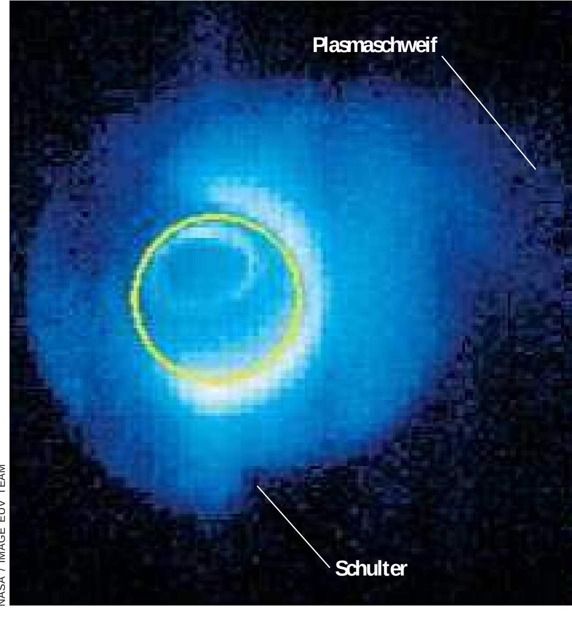
Satelliten als globale Wächter

Trotz aller neuen Erkenntnisse ist unser Bild vom Weltraumwetter noch immer unvollständig. Im Gegensatz zu irdischen Wolken sind die Plasmawolken, die IMAGE sieht, komplett durchsichtig. Dadurch bleibt nichts dem Blick verborgen, doch fehlt die räumliche, die Tiefeninformation. Diese wird man erst bekommen, wenn Satelliten direkt vor Ort das Plasma sowie die Felder und Ströme darin messen.

Der nächste Schritt in der Erforschung des Weltraumwetters sind Gruppen von Satelliten, die praktisch genau zum Ort des Geschehens fliegen. Das erste derartige Unternehmen hat bereits begonnen, als die Europäische Weltraumbehörde ESA im Sommer 2000 die Mission Cluster II gestartet hat. (Die ursprünglichen Cluster-Satelliten waren 1996 bei der Explosion ihrer Trägerrakete zerstört worden.) Cluster II besteht aus vier identischen Raumsonden in enger Nachbarschaft zueinander, die turbulente Plasmaphänomene in der Magnetosphäre und dem benachbarten Sonnenwind untersuchen. Die Nasa plant eine ähnliche Mission für 2006: Die *Magnetospheric Multiscale-Mission* wird das Verbinden der Feldlinien, die Beschleunigung geladener Teilchen und Turbulenzen untersuchen, auf der Tagseite der Magnetopause ebenso wie an bestimmten Stellen des Magnetosphärenschweifs, wo die Substürme ausgelöst werden.

Die Weltraumbehörden denken auch schon über noch ehrgeizigere Projekte nach, mit Dutzenden von Kleinsatelliten, die große Bereiche des Raumes überwachen können – ähnlich wie das globale Netz von Wettersatelliten heute die gesamte Erde im Blickfeld hat. Die ersten derartigen Missionen werden sich wohl auf die innere Magnetosphäre und die Magnetopause auf der Tagseite konzentrieren, wobei jede dieser nur tortengroßen Sonden die wesentlichen Eigenschaften des Plasmas und der Magnetfelder messen soll.

Die Magnetosphäre der Erde ist ein wichtiger Schutzschirm. Ihr starkes Magnetfeld bewahrt die Menschheit vor der durchdringenden und tödlichen Strahlung des Weltraums. Doch den stärksten Stoßwellen von der Sonne vermag auch die Magnetosphäre nicht standzuhalten. So, wie es auf der Erde bestimmte Zonen gibt, die häufig Tornados oder tropischen Wirbelstürmen ausgesetzt sind, können auch in der Magnetosphäre Stürme für Durcheinander sorgen. Deswegen sind Sturmwächter wie IMAGE so wichtig. ■



Plasma-Hülle:
Auf diesem Bild des Extreme Ultraviolet-Instruments des IMAGE-Satelliten erscheint die Plasmasphäre während eines moderaten geomagnetischen Sturms am 24. Mai 2000 als bläuliche Ionenwolke rund um die Erde (markiert durch den gelben Kreis). Diese Ergebnisse bestätigten das Vorhandensein des zuvor nur vermuteten Plasmaschweifs und enthüllten auch eine unerwartete Struktur, die „Schulter“ genannt wurde.

Literaturhinweise

Views of Earth’s Magnetosphere with the IMAGE Satellite. Von J. L. Burch et al. in: Science, Bd. 291, 619 (2001).

From the Sun: Auroras, Magnetic Storms, Solar Flares, Cosmic Rays. Von S. T. Suess und B. T. Tsurutani (Hg.). American Geographical Union, 1998.

Weblinks zum Thema finden Sie bei ***www.spektrum.de*** *unter „Aktuelles Heft“.*

James L. Burch *ist Vizepräsident der Space Science and Engineering Division des Southwest Research Institute in San Antonio (Texas) und wissenschaftlicher Leiter der IMAGE-Mission. Er promovierte 1968 an der Rice-Universität (Texas) in Weltraumwissenschaften.*

Das Geheimnis des Geschmackssinns

Wie Geschmackszellen Substanzen erkennen, beginnen Forscher erst jetzt zu verstehen. Allmählich klärt sich auch, wie einzelne Geschmacksqualitäten im Gehirn repräsentiert werden.

Von David V. Smith und Robert F. Margolskee

Was ist das süße Geheimnis köstlicher Pralinen? Die gelungene Komposition verschiedener Empfindungen im Mund. Süßer Zucker weckt Appetit, bittere Schokolade liefert einen pikanten Gegensatz. Eine Praline ist innen cremig, eine andere sahnig-flüssig, die dritte enthält einen Fruchtkern. Bei jeder erwarten wir gespannt das Gefühl beim Schmelzen und Zerkauen, freuen uns auf ein Aroma, das in die Nase steigt, sobald wir den Mund zum Schlucken schließen.

Dass der Geruchssinn dabei mitwirkt, den Geschmack der Nahrung zu erkennen, weiß jeder spätestens seit seinem letzten Schnupfen. Mit verstopfter Nase schmeckt jedes Essen fade. Auch das so genannte Mundgefühl der Speisen ist für ihren Geschmack wichtig. Sinnesphysiologen verstehen darunter die Berührungsreize beim Lutschen, Beißen und Kauen, ebenso Wärme- und Kälteempfindungen.

Nach herkömmlicher Meinung registriert der eigentliche Geschmackssinn allerdings nur die vier Grundgeschmäcke „salzig“, „sauer“, „süß“ und „bitter“. Denn auf diese Eigenschaften reagieren die Geschmackssinneszellen auf der Zunge und im Gaumen. Möglicherweise existieren aber noch ein paar mehr Grundqualitäten. Vor allem japanische Forscher meinen, dass die Geschmackszellen auch eine Qualität „Fleischgeschmack“ erkennen, japanisch „Umami“. Es handelt sich dabei um den Geschmack, den Glutamat hervorruft, das Salz einer der zwanzig Aminosäuren, aus denen die tierischen und pflanzlichen Proteine bestehen. Nicht zufällig dient Glutamat auch bei uns als Würzmittel und Geschmacksverstärker.

Das Schmecken gehörte bis vor kurzem zu den am wenigsten erforschten Sinnen. Doch in den letzten Jahren wuchs das Verständnis seiner biochemischen und neuronalen Vorgänge beträchtlich. So identifizierten Neurobiologen – darunter auch einer von uns (Margolskee) – bei den Geschmackssinneszellen Proteine, die beim Erkennen von Süßem und Bitterem entscheidend mitwirken. Die Forscher nennen diese „geschmacksleitenden“ Moleküle demgemäß „Gustducine“. Bemerkenswerterweise ähneln die neuen Proteine stark einer Proteinklasse in den Sinneszellen der Netzhaut, die hilft, visuelle Reize aufzufangen. Für Salziges und Saures benutzen die Sinneszellen jedoch einen anderen Mechanismus. Von diesen Substanzen gelangen elektrisch geladene Atome oder Moleküle, so genannte Ionen, in die Sinneszellen. Mindestens ▶

STECKBRIEF

Problem

➤ Beim Schmecken müssen Sinneszellen im Mund chemische Reize erkennen und dies Nervenzellen signalisieren, welche die Information ins Gehirn senden.
➤ Einzelne Nervenzellen codieren nicht eine spezifische Geschmacksqualität, sondern schicken ein gemischtes Signal zum Gehirn.

Lösung

➤ Auf jede der Grundgeschmacksqualitäten reagieren Sinneszellen anders. Ionen von sauren und salzigen Substanzen dringen unter anderem direkt in die Zellen ein. Für die größeren Moleküle von süßen und bitteren Stoffen tragen die Sinneszellen spezifische Erkennungsstrukturen. Geschmacksstoffe lösen in den Sinneszellen Reaktionskaskaden aus. Das veranlasst die Sinneszellen, einen chemischen Botenstoff auszuschütten, auf den anschließend Nervenzellen reagieren.
➤ Im Gehirn werden Geschmacksqualitäten durch Erregungsmuster repräsentiert, an denen viele Nervenzellen mitwirken.



CATHERINE LEDNER, STONE

Leckerbissen rufen gleichzeitig mehrere, oft gegensätzliche Geschmacksempfindungen hervor, wie die Kombination süßen Zuckers mit bitterer Schokolade, cremiger Sahne und hartem Krokant.

ebenso spannend sind Befunde über Weiterleitung und Verarbeitung der Sinneseindrücke im Gehirn. An diesen Forschungen war unter anderem das Team des Zweiten von uns (Smith) beteiligt. Wie wir feststellten, können einzelne Nervenzellen des Geschmackssystems auf mehr als nur eine Geschmackssorte ansprechen – ähnlich wie Neuronen beim Farbensehen bei mehr als einer Farbe aktiv sind.

Schmeckzellen in Spezialstrukturen

Seinen Anfang nimmt das Schmecken in den „Geschmacksknospen“ oder „Schmeckbechern“. So heißen die mikroskopisch kleinen, zwiebelförmigen Gebilde, in denen jeweils fünfzig bis hundert „Geschmackssinneszellen“ oder „Schmeckzellen“ zusammen lagern wie Schnitze in einer Apfelsine (Bild Seite 41 unten).

Die Geschmacksknospen sitzen hauptsächlich auf der Zunge und im Gaumensegel. Auf der Zunge stecken sie meistens in so genannten Papillen – winzigen, mit bloßem Auge sichtbaren Auswüchsen, die der Zungenoberfläche ihr samtiges Aussehen verleihen. Allerdings enthalten nicht alle Zungenpapillen Geschmackssinneszellen: Die Fadenpapillen, die häufigste Sorte, sind für Berührungsreize zuständig. Von den übrigen, denen mit Schmeckzellen, fallen die

➤ „Pilzpapillen“ auf dem vorderen Teil der Zunge als Erste auf. Das bloße Auge erkennt sie als erhabene rosa Pünktchen. Pilzpapillen sind deutlich zu sehen, wenn jemand gerade Milch getrunken hat oder wenn man ein wenig Lebensmittelfarbe auf die Zungenspitze träufelt. Manche Pilzpapillen tragen mehrere Geschmacksknospen, manche nur eine. Ziemlich weit hinten auf der Zunge sitzen – angeordnet wie ein umgekehrtes „V“ – die ungefähr zwölf sehr gut sichtbaren

➤ „Wallpapillen“ (Bilder Seite 41 oben). Sie sind viel größer als die Pilzpapillen und enthalten jede an die hundert Geschmacksknospen. Auch die großen

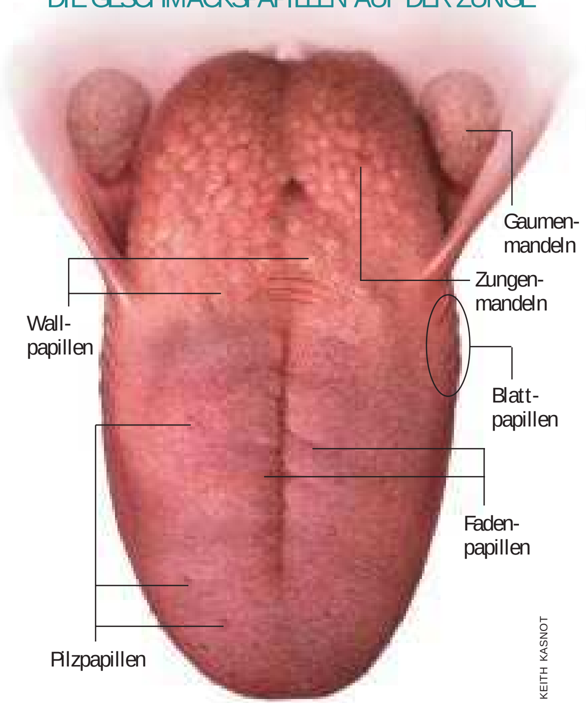
➤ „Blattpapillen“, die flachen Einkerbungen am hinteren Seitenrand der Zunge, enthalten jeweils rund fünfzig Geschmacksknospen.

Eine Geschmacksknospe mündet an ihrer Spitze in eine Eintiefung der Schleimhaut, die „Geschmackspore“. Dort hinein bilden die länglich gestreckten Sinneszellen fingerförmige Fortsätze (so genannte Mikrovilli). An diesen Fingern kommen im Speichel gelöste Stoffe mit den Sinneszellen in Berührung.

Diese Sinneszellen schicken keine eigenen Zellfortsätze ins Gehirn. Stattdessen signalisieren sie die Ereignisse Nervenzellen, deren Ausläufer in die Geschmacksknospen hineinragen. Über diese Ausläufer gelangen die Signale zum Gehirn (Bild Seite 41 unten).

In den Sinneszellen verursachen die Geschmacksstoffe eine Kaskade von Reaktionen. Dadurch verändern sich an der äußeren Zellmembran die elektrischen Ladungsverhältnisse. (Normalerweise herrscht im Zellinneren der Sinneszellen – wie auch in Nervenzellen – bedingt durch eine entsprechende Verteilung von Ionen eine negative elektrische Ladung gegenüber außen. Nun aber öffnen sich Ionenkanäle in der Zellmembran, und positive Ionen können vermehrt einströmen.) Durch die Ladungsveränderungen an der Zellwand wiederum erhält die Sinneszelle den Anstoß, einen Signalstoff freizusetzen. Diesen Signalstoff – einen neuronalen Botenstoff oder Neurotransmitter – fangen Nervenzellen auf, wandeln ihrerseits das chemische Signal in ein elektrisches um und senden dieses weiter ins Gehirn.

DIE GESCHMACKSPAPILLEN AUF DER ZUNGE



Vier Sorten von – mit bloßem Auge sichtbaren – „Papillen“ trägt die Zungenoberfläche. Drei davon enthalten geschmacksempfindliche Sinneszellen: Pilz-, Wall- und Blattpapillen.

Eine Sinneszelle reagiert auf die Stoffe im Speichel in verschiedener Weise – je nachdem, welche der klassischen Geschmacksqualitäten mit ihr in Berührung kommen. Bei salzigen und sauren Substanzen lösen typischerweise deren Ionen die Empfindung aus. Diese Ionen gelangen teilweise ins Zellinnere – durch Ionenkanäle in den Sinnesfingern –, oder sie verändern das Verhalten von Membrankanälen für andere Ionen.

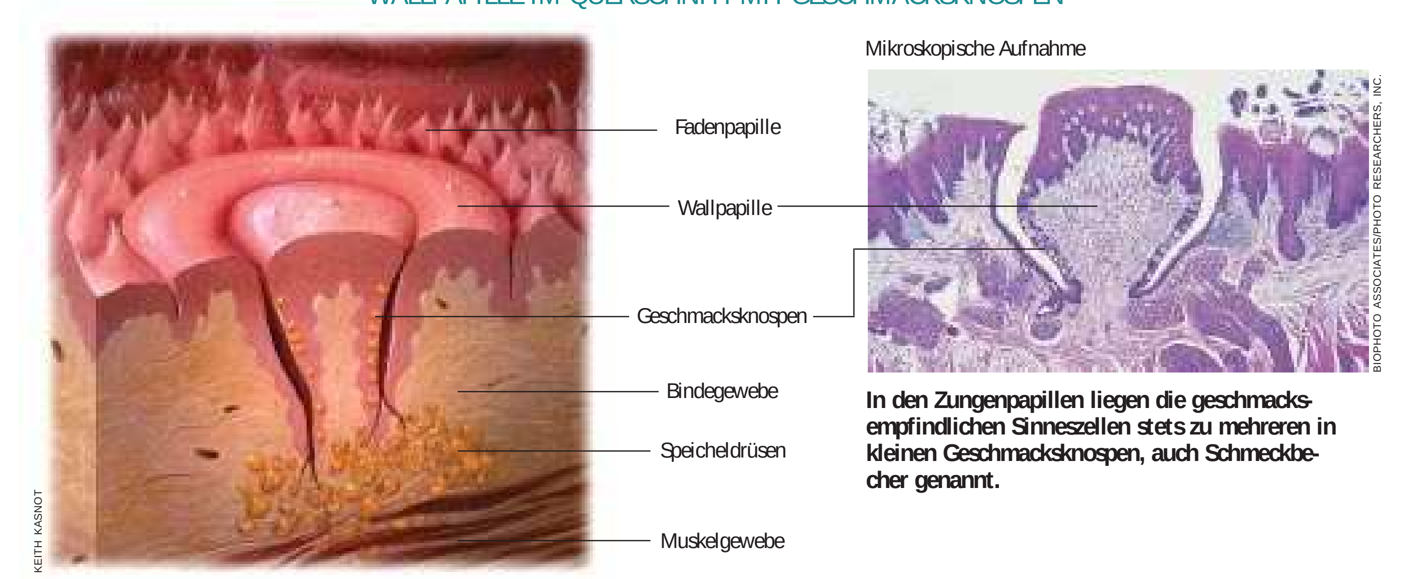
Bei Bitterem und Süßem setzt die Sinneszelle andere Mechanismen ein. Sie erkennt dergleichen Moleküle mit Hilfe von Rezeptoren, speziellen Proteinen, auf ihren Sinnesfingern. Dabei gelangen die Geschmacksstoffe selbst nicht in die Zelle. Solche besonderen Rezeptorproteine dürften auch beim japanischen Geschmack „Umami“ mitwirken.

Es hat lange gedauert, bis die Geschmacksforscher dahinter kamen, auf welche Weise Schmeckzellen diese drei Qualitäten erkennen. Erst vor kurzem fanden sie einige der Rezeptoren und deren Helfer.

Dabei zeigten Versuche an Tieren wie auch Menschen, dass eine bestimmte chemische Substanzklasse nicht immer die gleiche Geschmacksqualität hervorruft. Das gilt besonders für bitter und süß. Zum Beispiel schmecken zwar viele, aber nicht alle Kohlenhydrate wie etwa Zucker süß, wenn sie sich im Speichel lösen. Umgekehrt erzeugen manchmal zwei chemisch völlig unterschiedliche Verbindungen die gleiche Geschmacksqualität: Chloroform und die künstlichen Süßstoffe Aspartam und Saccharin schmecken süß, obwohl sie chemisch gesehen nichts mit Zucker zu tun haben. Bei Salzigem und Saurem ist die Bandbreite weniger groß.

Das könnte mit den beiden verschiedenen Wirkungsweisen der Geschmacksqualitäten zusammenhängen. Die Kontaktaufnahme durch Ionenkanäle erfordert nicht so viele Reaktionsschritte. Bitteres und Süßes muss erst an Oberflächenrezeptoren binden, von denen dann Signalkaskaden ins Zellinnere vordringen. Der Geschmacksstoff muss an den Rezeptor passen, etwa so wie ein Schlüs-

WALLPAPILLE IM QUERSCHNITT MIT GESCHMACKSKNOSPEN



In den Zungenpapillen liegen die geschmacksempfindlichen Sinneszellen stets zu mehreren in kleinen Geschmacksknospen, auch Schmeckbecher genannt.

sel ins Schloss. Dann erst kann die Signalkaskade „zünden". Dies steuert das Rezeptormolekül aber nicht allein. 1992 identifizierten Margolskee und seine Mitarbeiter ein Schlüsselmolekül am Anfang dieser Reaktionskette. Sie nannten das Molekül „Gustducin" („geschmacksleitend") – in Analogie zu dem sehr ähnlichen Transducin, welches in der Netzhaut Lichtreize in elektrische Impulse umwandeln hilft.

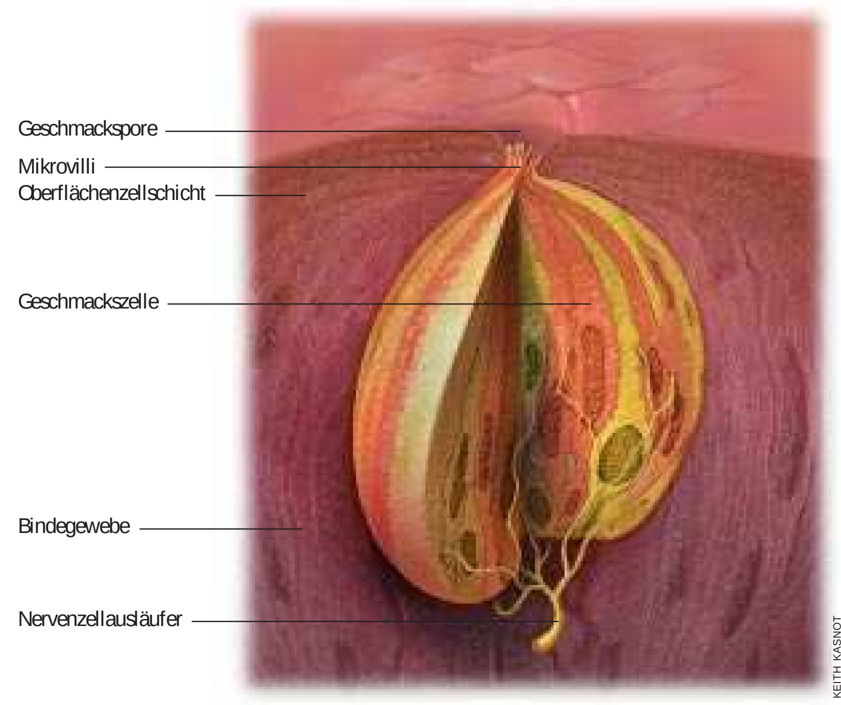
Molekulare Helfer

Sowohl Gustducin als auch das verwandte Molekül in der Netzhaut gehören zu den so genannten G-Proteinen, einer wichtigen Molekülklasse an Zellmembranen für die Übermittlung von Signalen. (Der Name bezieht sich auf die Verbindung Guanosintriphosphat, GTP, von der die Aktivität dieser Proteine abhängt.) G-Proteine sitzen an vielen unterschiedlichen Rezeptortypen. Wenn ein passendes Molekül im Speichel an einen Geschmackszellrezeptor bindet, zerfällt das Gustducin in seine Untereinheiten (Bilder Seite 43). Und das löst nun über weitere Moleküle die Kaskade in der Zelle aus.

Ein entscheidender Versuch gelang einem von uns (Margolskee) im Jahre 1996. Zusammen mit anderen Wissenschaftlern experimentierten wir damals mit Mäusen, die ein defektes G-Protein besaßen. Die Nager waren genetisch so manipuliert, dass den Tieren eine der drei Gustducin-Komponenten fehlte. Was uns interessierte: Würden die Mäuse mit dem defekten G-Protein bitter und süß wirklich nicht mehr schmecken können wie normalerweise? Das Experiment bestätigte unsere Erwartungen: Die Tiere gierten nicht mehr nach Zuckerwasser und tranken selbst stark bittere Lösungen anstandslos, als wäre es reines Wasser. Stimmig dazu zeigten auch die entsprechenden Nervenbahnen ins Gehirn bei süßen und bitteren Substanzen eine ungewöhnlich geringe Aktivität. Auf salzig und sauer reagierten diese Nervenzellen aber normal.

Im letzten Jahr gelang es dann endlich zwei Forschergruppen, einige der Rezeptoren zu identifizieren, die Gustducin aktivieren – und zwar Rezeptormoleküle, an die sich Bitteres anlagert (siehe ▶

AUFGESCHNITTENE GESCHMACKSKNOSPE MIT SINNESZELLEN UND VERZWEIGTEM FORTSATZ EINER NERVENZELLE



Geschmackszellen erneuern sich etwa alle zehn Tage. Sie liegen in den Geschmacksknospen zwischen Stützzellen. Mit fingerförmigen Fortsätzen – so genannten Mikrovilli – ragen sie in eine Vertiefung an der Spitze der Geschmacksknospe: die Geschmackspore. Auf diesen Fingern sitzen die molekularen Strukturen, die den Sinnesreiz aufnehmen.

Spektrum der Wissenschaft 7/00, S. 16). Die eine Gruppe arbeitete an der Universität von Kalifornien in San Diego und am Nationalinstitut für Zahn- und Gesichtsschädelforschung in Bethesda (US-Bundesstaat Maryland), die andere an der Harvard Universität. Wie die Forscher feststellten, gehören diese Bitter-Rezeptoren zu einer Familie mit geschätzten 40 bis 80 verwandten Proteinen. (Sie nannten die Moleküle T2R oder T2B; „T“ steht für englisch *taste*, Geschmack, „R“ für Rezeptor).

Als die Forscher die Gene von zwei dieser Rezeptoren von Mäusen (bezeichnet als mT2R5 und mT2R8; „m“ für Maus) in kultivierte Zellen einbauten, konnten sie diese Zellen später mit zwei verschiedenen Bitterstoffen tatsächlich aktivieren. Zudem stellten die Wissenschaftler fest, dass gewisse Mäusestämme eine bestimmte Variante des Gens für mT2R5 weitervererben. Tieren mit diesem Gen schmeckt das Antibiotikum Cycloheximid bitter. Nach all dem dürften die T2R-Rezeptoren wirklich für das Schmecken von bitteren Stoffen verantwortlich sein. Auch den Rezeptoren für Süßes sind Wissenschaftler inzwischen auf der Spur.

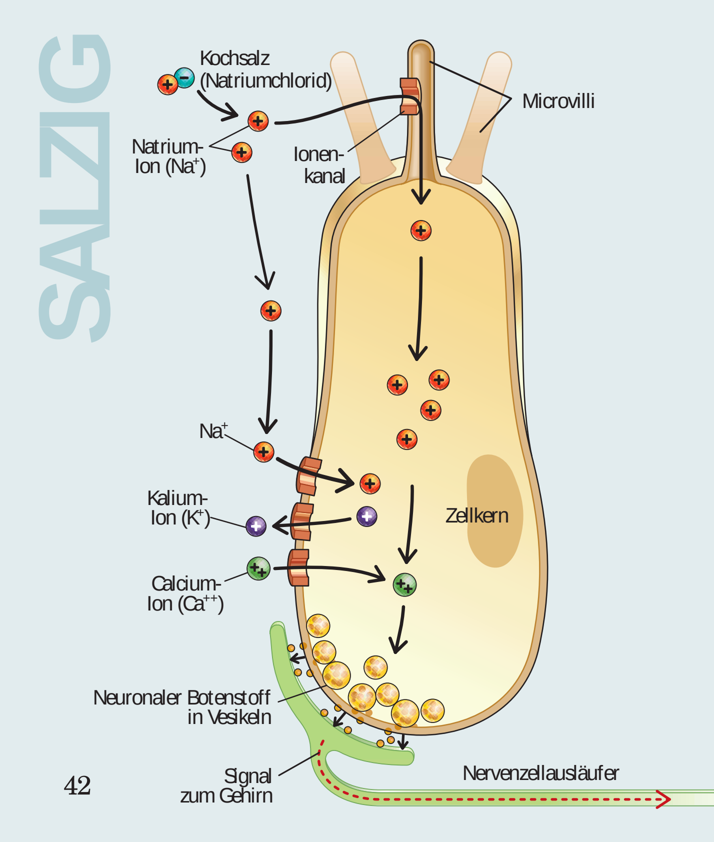
Ein Rezeptor-Kandidat für den Umami-Geschmack wird ebenfalls untersucht. 1998 konnten Wissenschaftler von der Universität Miami (US-Bundesstaat Florida) aus Rattenzellen einen Rezeptor isolieren, an den sich Glutamat bindet. Das japanische Wort „Umami“ könnte man genauso mit „fleischartig“ übersetzen wie mit „wohlschmeckend“ oder

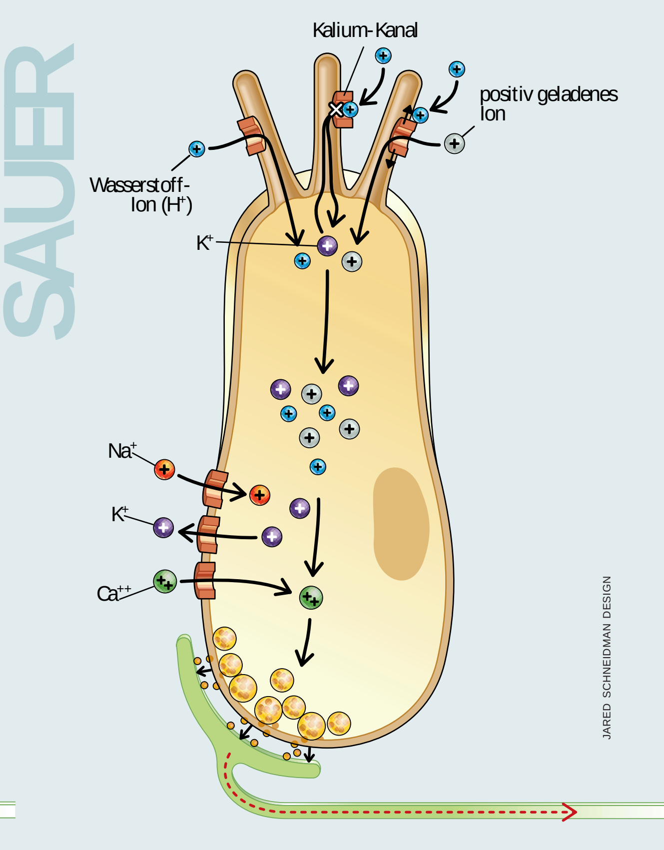
WIE EINE SINNESZELLE AUF GESCHMACKSSTOFFE REAGIERT

Die Grundgeschmacksqualitäten – salzig, sauer, süß, bitter, „Umami“ – erregen die Sinneszellen in jeweils eigener Weise. Bei salzigen und sauren Substanzen geschieht das weitgehend durch Ionen (elektrisch geladene Teilchen), bei den anderen Geschmacksqualitäten durch einen komplizierteren Mechanismus. Zur besseren Übersichtlichkeit sind hier fünf verschiedene Zellen dargestellt. An sich ist jede Sinneszelle für mehrere Geschmacksqualitäten empfänglich.

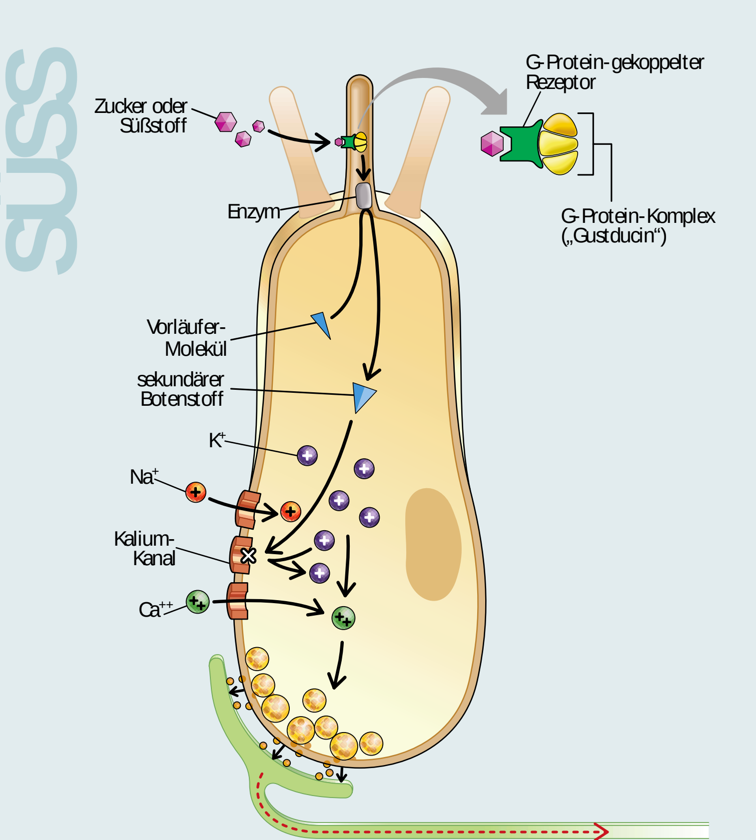
Salzig: Die Natrium-Ionen von Kochsalz (Natriumchlorid) etwa dringen durch Ionenkanäle auf den fingerförmigen Fortsätzen der Sinneszelle ein. Solche Ionenkanäle trägt die Zelle auch andernorts. Durch die positiv geladenen Ionen verringert sich das innen gegen außen negative Spannungsgefälle an der Außenmembran der Zelle. Auf diese so genannte Depolarisation reagiert die Zelle, indem sie Calcium-Ionen einströmen lässt. Das Calcium wiederum gibt den Anstoß dafür, dass die Sinneszelle an Nervenzellen einen Signalstoff (Neurotransmitter oder neuronalen Botenstoff) abgibt, den sie aus Vesikeln, kleinen Bläschen, freisetzt. Angrenzende Nervenzellfortsätze empfangen die chemische Botschaft und leiten sie als Nervensignale an das Gehirn weiter. Ihren Grundzustand stellen die Sinneszellen unter anderem dadurch wieder her, dass sie Kanäle öffnen, durch die sie nun speziell Kalium-Ionen nach außen lassen.

Sauer: Den sauren Geschmack erzeugen die Wasserstoff-Ionen von Säuren. Diese positiv geladenen Ionen können erstens selbst in die Sinneszelle eindringen. Zweitens blockieren sie auf den Fingerfortsätzen der Zelle Kanäle, durch die sonst Kalium austritt. Drittens können sie sich an Kanäle anlagern, durch die daraufhin noch andere positiv geladene Ionen in die Zelle gelangen. Aus alldem resultiert eine Ansammlung positiver Ladungsträger in der Zelle. Die Sinneszelle reagiert, indem sie Calcium einlässt, und schüttet am Ende Botenstoff aus.



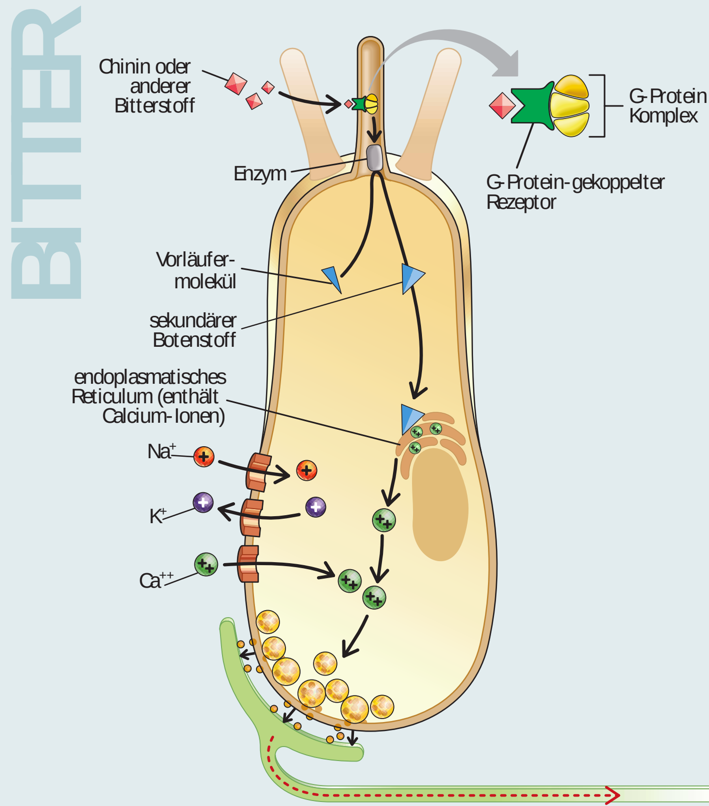


SÜSS



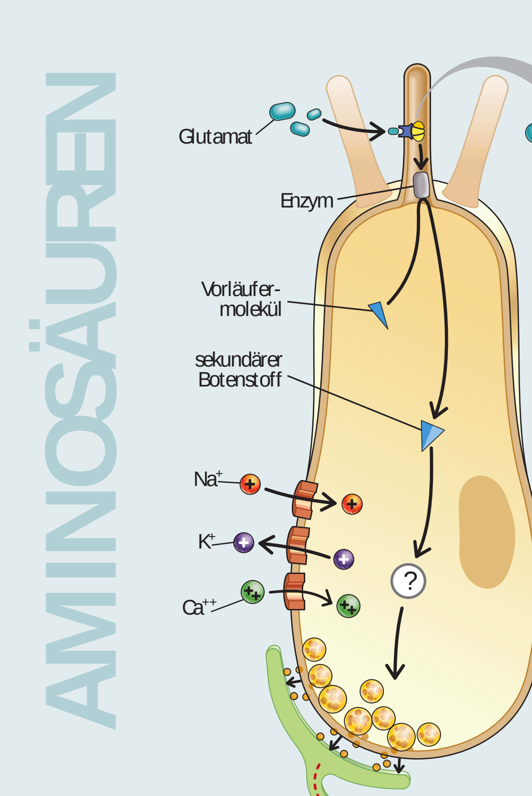
Süß: Zucker und künstliche Süßstoffe dringen nicht in die Geschmackszellen ein. Sie binden sich an Rezeptoren auf der Zelloberfläche. Diese Erkennungsmoleküle sind an G-Proteine gekoppelt, so genannte Gustducine. Bei Anlagerung des Geschmacksstoffs zerfällt das G-Protein in zwei Teile. Das aktiviert ein benachbartes Enzym, welches ein Vorläufermolekül in der Zelle in einen so genannten sekundären Botenstoff umwandelt. Dieser Botenstoff sorgt für die Schließung der Kaliumkanäle und löst damit die weiteren Abläufe aus.

BITTER



Bitter: Chinin und andere bittere Stoffe erregen die Zelle über die Aktivierung von G-Protein-gekoppelten Rezeptoren und sekundären Botenstoffen. Allerdings bewirken die sekundären Botenstoffe in diesem Fall, dass aus dem endoplasmatischen Reticulum (einem Membransystem in der Zelle) gespeichertes Calcium ins Zellplasma freikommt. Die Ansammlung von Calcium-Ionen bewirkt eine Depolarisation; diese lässt noch mehr Calcium einströmen. Das viele Calcium löst die Ausschüttung von neuronalen Botenstoffen aus.

AMINOSÄUREN



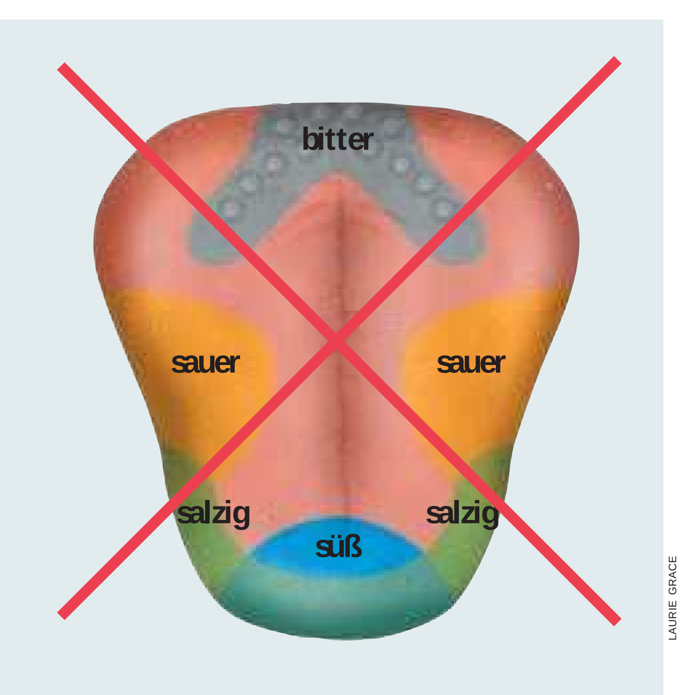
Aminosäuren („Umami“): Auch Aminosäuren, genauer gesagt ihre Salze – wie Glutamat – binden sich nachweislich an G-Protein-assoziierte Rezeptoren und aktivieren so sekundäre Botenstoffe. Die weiteren Zwischenschritte bis zur Ausschüttung von Neurotransmittern sind allerdings noch unklar.

KEINE SPEZIFISCHEN SCHMECKZONEN

Die alte Zungenkarte stimmt nicht!

Ältere Lehr- und Schulbücher zeigen sie noch: die Karte von einer Zunge, die an der Spitze Süßes schmeckt und hinten Bitteres. Diese Darstellung kam im frühen zwanzigsten Jahrhundert auf und wurde bald populär. Doch sie ist falsch! Sie bezieht sich auf über hundert Jahre alte Studien, deren Ergebnisse spätere Wissenschaftler falsch deuteten.

Geschmacksforscher wissen seit langem, dass die Zunge nicht einzelne exklusive Zonen für bestimmte Geschmäcke aufweist. Denn sämtliche Bereiche, die Geschmacksknospen tragen, können alle Geschmacksqualitäten erfassen. Die Empfindlichkeit für die einzelnen Qualitäten unterscheidet sich zwar etwas an einzelnen Stellen von Zunge und Gaumen. Doch bisher weist nichts darauf hin, dass die Repräsentation von Geschmack im Gehirn sich irgendwie in einer räumlicher Aufteilung auf der Zunge wiederfindet.



LAURIE GRACE

„würzig“. Manche Forscher meinen, dass der gefundene Rezeptor tatsächlich diese besondere Geschmacksqualität übermittelt.

Doch andere Wissenschaftler sind noch nicht überzeugt, dass „Umami“ überhaupt eine fünfte Hauptgeschmacksrichtung darstellt. Zwar scheint Glutamat einen ganz eigenen Sinneseindruck zu vermitteln. Doch nur in Japan existiert dafür ein eigenes Wort.

Unsere Geschmackswahrnehmung erfasst aber weit mehr, als dass eine Speise süß oder sauer, bitter oder salzig ist. Denn das Geschmackssystem registriert neben den Hauptgeschmacksrichtungen weitere Eigenschaften der chemischen Reize und leitet diese zeitgleich zum Gehirn. Wir spüren zum Beispiel, wie intensiv etwas schmeckt, und ebenfalls, ob eine Speise wohlschmeckend ist, ob sie nach Nichts oder ob sie widerlich schmeckt. Ähnlich übermitteln im Sehsystem die beteiligten Nervenzellen Form, Helligkeit, Farbe und Bewegung simultan. Die Geschmacksnervenzellen sprechen zudem oft bei Berührungs- und Temperaturreizen an.

Geschmack im Gehirn: ein übergreifendes Erregungsmuster

Wie aber kommt nun eine Geschmacksempfindung zu Stande? Die einzelnen Sinneszellen reagieren auf mehrere Geschmacksqualitäten. Geben jedoch die einzelnen Nervenzellen, die das Signal zum Gehirn tragen beziehungsweise die es dann zu anderen Verrechnungsstationen weiterleiten, ebenfalls ein gemischtes Signal weiter oder sind sie jeweils nur für eine bestimmte Geschmacksart zuständig? Die Ansichten darüber wechselten mehrmals. Denn wie können wir einzelne Geschmäcke trotzdem unterscheiden, wenn die Neuronen keine eindeutigen Signale übermitteln?

Inzwischen wissen wir, dass die Nervenzellen im typischen Fall bei mehr als nur einer Reizqualität ansprechen. Das gilt sowohl für die Neuronen, die von den Geschmacksknospen Signale aufnehmen und zum Gehirn senden, als auch für die, welche die Signale im Gehirn weiterverarbeiten. Zwar spricht jedes Neuron auf eine von den Grundqualitäten stärker an als auf die jeweils anderen. Doch in der Regel lassen die Geschmacksnervenzellen sich auch bei einem oder mehreren der anderen Geschmacksrichtungen erregen.

Wie hält das Gehirn dann die einzelnen Qualitäten auseinander? Viele Wissenschaftler sind mittlerweile der Ansicht, dass die spezifischen Wahrnehmungen in den Aktivitätsmustern repräsentiert sein müssen, die zahlreiche Nervenzellen miteinander bilden.

Ähnliches hatte vor einem halben Jahrhundert schon der amerikanische Neurobiologe Carl Pfaffmann vermutet. Anfang der vierziger Jahre hatte er die ersten elektrophysiologischen Messungen an Geschmacksneuronen durchgeführt und nachgewiesen, dass die einzel-



nen Nervenzellen, die von den Sinneszellen ins Gehirn ziehen, nicht spezifisch bei einer einzigen Geschmackssorte reagieren, sondern zugleich ein Spektrum von Geschmäcken repräsentieren. Weil sie also mehrdeutige Signale liefern, vermutete Pfaffmann, dass der empfundene Geschmack in dem Muster aus den Erregungen vieler Nervenzellen verschlüsselt liege.

Später gewann allerdings eine andere Auffassung die Oberhand. In den siebziger und achtziger Jahren fanden Wissenschaftler immer mehr Hinweise auf ein doch relativ eindeutiges Verhalten der Geschmacksneuronen. Sie konnten messen, dass die einzelnen Nervenzellen bei einer bestimmten Geschmacksqualität ganz besonders stark ansprechen (siehe Grafik rechts). Daraus schlossen die Forscher, dass jede dieser Nervenzellen für eine bestimmte Reizqualität zuständig, also darauf feinabgestimmt ist und dass folglich verschiedene Typen von Geschmacksneuronen existieren müssen. Ein Neuronentyp übermittelt nach dieser Hypothese folglich die Information „Süße“, ein anderer Typ „Bitterkeit“ und so weiter.

Kooperation der Neuronen

Wie sich allerdings 1983 herausstellte, bestimmen diese angeblich spezifischen Nervenzelltypen ebenfalls das jeweilige Aussehen der übergreifenden Erregungsmuster, nämlich deren Ähnlichkeiten und Unterschiede. Die Forscher konnten dann auch belegen, dass unterschiedliche Typen dieser Neuronen gleichzeitig aktiviert sein müssen, damit das Gehirn Reizqualitäten auseinander halten kann. Wiederum zeigt sich eine Parallele zum visuellen System: Auch bei der Farbwahrnehmung müssen verschieden ausgestattete Photorezeptorzellen zusammenwirken. Wegen solcher Befunde favorisieren wir heute die These, dass die Geschmacksinformationen in übergreifenden Aktivitätsmustern der Neuronen enthalten sind.

REAKTIONSPROFILE VON GESCHMACKSNEURONEN

Eine Geschmacksnervenzelle antwortet durchaus bei mehreren Geschmacksqualitäten (Bitteres ist hier weggelassen). In der Regel spricht sie jedoch auf eine Qualität am stärksten an.

Anzahl der Nervenzellimpulse pro 5 Sekunden

Gruppe eins: stärkste Reaktion auf Süßes

Gruppe zwei: stärkste Reaktion auf Salziges

Gruppe drei: stärkste Reaktion auf Saures und natriumlose Salze

Rohrzucker, Fruchtzucker, Traubenzucker, Saccharin, Alanin, NaCl (Kochsalz), $NaNO_3$, $MgSO_4$, KCl, NH_4Cl, $MgCl_2$, $CaCl_2$, HCl (Salzsäure), Weinsäure, Zitronensäure, Essigsäure

Süßes – Salziges (mit Natrium / ohne Natrium) – Saures

EDWARD BELL

Wir wissen sogar schon einiges über diese Erregungsmuster der Geschmacksneuronen: Ähnlich schmeckende Stoffe erzeugen nämlich ähnliche Aktivitätsbilder bei Neuronengruppen. Mit statistischen Verfahren lassen sich auch die Muster vergleichen, die bei verschiedenen Geschmacksstoffen entstehen. Bisher gelang das bei Hamstern und Ratten. Erfreulicherweise passen diese Befunde gut zu den Ergebnissen von Verhaltensstudien, mit denen Wissenschaftler prüfen, ob Tiere zwei Substanzen geschmacklich auseinander halten können. Die übergreifenden Erregungsmuster tragen also offensichtlich genügend Information dafür, dass einzelne Geschmäcke erkannt werden können.

Ein simpler Versuch demonstriert dies. Gibt man Nagern die Substanz Amilorid auf die Zunge, so unterscheiden die Tiere in Verhaltenstests nicht mehr zwischen Kochsalz (Natriumchlorid, NaCl) und dem chemisch nahe verwandten Kaliumchlorid (KCl). Wie neurophysiologische Untersuchungen ergaben, „schweigen“ dann tatsächlich bestimmte Neuronentypen in den Geschmacksnerven. Das sind offenbar hauptsächlich jene Nervenzellen, die normalerweise am stärksten bei Kochsalz reagieren, denn andere Fasern der Geschmacksnerven lassen sich immer noch unvermindert erregen. Amilorid blockiert nämlich Natriumkanäle an den „Fingern“ der Geschmackssinneszellen, in die sonst Natrium-Ionen eindringen können.

Vor kurzem konnten wir außerdem zeigen, dass die Amiloridbehandlung bei Ratten den Unterschied in den übergreifenden neuronalen Erregungsmustern ▶

Literaturhinweise

The Molecular Physiology of Taste Transduction. Von T. A. Gilbertson, S. Damak und R. F. Margolskee in: Current Opinion in Neurobiology, Bd. 10, Heft 4, S. 519, 8/2000.

Neural Coding of Gustatory Information. Von David V. Smith und Stephen J. St. John in: Current Opinion in Neurobiology, Bd. 9, Heft 4, S. 427, 8/99.

*Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei **www.spektrum.de** unter „Aktuelles Heft“.*

LEBENSNOTWENDIGE GESCHMACKSEMPFINDUNG

Heißhunger und Ekel

Die Geschmackszellen im Mund helfen uns, das Richtige zu essen – das, was der Körper braucht. Beispielsweise erzeugt der süße Geschmack von Zucker ein starkes Verlangen nach Kohlenhydraten. Aber die Geschmackssignale lösen auch physiologische Reaktionen aus. Sie regen etwa die Freisetzung des „Zuckerhormons“ Insulin an, bereiten den Körper also auf die Verwertung der Nährstoffe vor. Fehlt dem Organismus Natrium, eines der Elemente von Kochsalz, verspüren wir Hunger auf Salziges. Und Mangelernährung weckt oft besonders den Appetit auf vitamin- und mineralstoffreiche Speisen.

Ebenso wichtig ist, dass wir giftige und verdorbene Nahrung instinktiv ablehnen. Stark Bitteres speien wir unwillkürlich aus. Dass viele Pflanzengifte, wie Strychnin, intensiv bitter schmecken, ist wohl kein Zufall. Denn Pflanzen schützen sich so gegen Tierverbiss. Auch der oft säuerliche Geschmack von verdorbenen Lebensmitteln erregt Ekel.

Anscheinend sind die Lust auf Süßes und der Ekel vor Bitterem angeboren. Hierfür dürften neuronale Verschaltungen im unteren Hirnstamm verantwortlich sein. Denn Neugeborene, deren Großhirn fehlt, wie auch Tiere mit durchtrenntem Vorderhirn verziehen das Gesicht, wenn sie etwas Bitteres schmecken. Bei Süßem entspannt sich die Mimik.

Diese sehr starke Kopplung zwischen einem Geschmackseindruck und einer Emotion bildet die Grundlage für gelernte Abneigungen gegen bestimmte Speisen. Dazu genügt oft ein einziges Ereignis im zeitlichen Zusammenhang. Wenn wir nach dem Verzehr einer uns ungewohnten Nahrung Bauchschmerzen bekommen, geben wir gewöhnlich dem Essen die Schuld – auch wenn beides gar nicht zusammenhängt – und meiden diese Speise in Zukunft. Auch Tiere fressen ein Futter nicht mehr, wenn es ihnen danach übel erging, selbst wenn dies Stunden später geschah.

Dieser Effekt erklärt großenteils auch die Appetitlosigkeit, unter der Krebspatienten während einer Chemo- oder Bestrahlungstherapie leiden. Übelkeit gehört zu den Nebenwirkungen solcher Behandlungen. Der Patient lastet sein Befinden aber unwillkürlich auch den Speisen selbst an und empfindet einen Widerwillen gegen sie.

aufhebt, der gewöhnlich zwischen Natrium- und Kaliumchlorid auftritt. Das erklärt, weswegen die Ratten die beiden Stoffe nun nicht mehr getrennt herausschmecken können.

Man kann die Unterscheidung zwischen den beiden Salzen aber auch stören, indem man andere Typen von Geschmacksneuronen behindert, die normalerweise am Gesamterregungsmuster im Gehirn mitwirken. All dies zeigt deutlich, dass nicht jeweils ein spezifischer Geschmacksneuronentyp allein für die Zuordnung einer Geschmacksqualität verantwortlich ist, sondern andere Typen mitwirken. Erst das gesamte Erregungsmuster ermöglicht die Unterscheidung. Bei der Geschmackserkennung kommt es also auf den relativen Beitrag der einzelnen Typen von Geschmacksneuronen an. Kein Anteil darf fehlen.

Das bedeutet natürlich, dass die Forscher immer das Aktivitätsniveau einer großen Zahl von Neuronen zugleich messen müssen, um einen Eindruck davon zu erhalten, welche Reizempfindung sie nun gerade registrieren. Für sich genommen vermag kein Neuronentyp allein Reizqualitäten zu repräsentieren oder zwischen ihnen zu unterscheiden. Denn die einzelne Zelle antwortet unter Umständen auf verschiedene Geschmacksstoffe gleich, beim einen allerdings bei einer hohen, beim anderen bei einer niedrigen Konzentration. Auch solches Verhalten kennen wir von den Sehzellen im Auge: Die drei Sorten von Rezeptoren für das Farbensehen sprechen jede auf eine bestimmte Wellenlänge am empfindlichsten an, lassen sich aber auch von anderen Wellenlängen aktivieren. Erst die drei Photopigmente zusammen ermöglichen uns, die vielen Farbabstufungen des Regenbogens wahrzunehmen. Fehlt eines davon, stört das die Farbwahrnehmung empfindlich, weit über den Frequenzbereich hinaus, auf den der betroffene Rezeptortyp am empfindlichsten reagiert. So werden Rot und Grün ununterscheidbar, sobald entweder das rote oder das grüne Pigment fehlt.

Ähnlich könnte man sich die neuronale Codierung des Geschmacks vorstellen. Allerdings sind sich Geschmacksforscher noch nicht sicher, ob die einzelnen Neuronentypen beim Schmecken nicht doch mehr zu sagen haben als beim Farbensehen. Und sie überlegen, ob es sich beim Geschmackssinn um einen „analytischen“ Sinn handelt, der jede Reizqualität separat erfasst. Im Gegensatz dazu erzeugt ein synthetischer Sinn – wie der Farbensinn – aus den Einzelqualitäten einen einzigen Gesamteindruck. Bei Mischfarben sehen wir nur eine Gesamtfarbe. Zu den großen Fragen gehört vor allem, wie das Geschmackssystem mit seinen eher unscharf eingestellten Nervenzellen mehrere Substanzen zugleich registrieren kann.

Auch wenn das Geschmackssystem immer noch zu den am wenigsten verstandenen Sinnen gehört: Allmählich ergeben die neuen Erkenntnisse ein zusammenhängendes Bild. Dieses Wissen dient nicht zuletzt unserer Gesundheit und Lebensqualität. Das fängt an bei künftig besseren Ersatzstoffen für Zucker, Salz oder Fett und reicht bis in die Versorgung kranker und alter Menschen, denen aus physiologischen Gründen das Essen nicht mehr schmeckt. ■

David V. Smith *und* ***Robert F. Margolskee*** *erforschen sozusagen entgegengesetzte Enden des Geschmackssinns. Der Psychobiologe und Neurophysiologe Smith untersucht die neuronale Verrechnung und Repräsentation im Gehirn. Er hat an der Universität von Maryland eine Professur. Margolskee, Molekular-Neurobiologe und Biochemiker, untersucht die Reizerkennung und die molekularen Mechanismen der Sinneszellen. Er arbeitet am Howard Hughes Medical Institute und hat an der Mount Sinai School of Medicine eine Professur. Er gründete die Biotechnologiefirma Linguagen in Paramus (US-Bundesstaat New Jersey).*

WASSERSTOFF

Wäre es nicht viel angenehmer, einen Laptop einfach aufzutanken, statt nach einer Steckdose zu fahnden? Brennstoffzellen bieten diesen Vorteil gegenüber Akkus, doch ihre Miniaturisierung zeigt einige Tücken.

Von Felix Büchi

Unsichtbare, kleine Helfer sollten unsichtbar bleiben und sich auch sonst möglichst nicht bemerkbar machen. Das gilt insbesondere für die kleinen Stromlieferanten, ohne die es keine Handys, Laptops, Camcorder, Walkmen und all die anderen tragbaren Geräte gäbe. Doch Batterien, wiederaufladbar Akkus genannt, erfüllen diese Forderung oft nicht: Manche sind klotzig groß und schwer, allen ist die begrenzte Kapazität zu Eigen, und landen sie schließlich im Müll, stellen diese chemischen Kraftwerke ein nicht geringes Problem dar.

Vor 200 Jahren hat Alessandro Volta (1745–1827) sie an der Universität in Pavia (Italien) erfunden, inspiriert durch elektrophysiologische Experimente des Arztes Luigi Galvani (1737–1798). Die zu Grunde liegenden Mechanismen waren ihm noch unbekannt: Bei manchen chemischen Reaktionen werden Elektronen freigesetzt, die sich, sofern ein Elektrolyt die beiden Partner trennt, über einen angeschlossenen Stromkreis abziehen und nutzen lassen. Fachlich gesprochen oxidiert das Material, das die Ladungsträger abgibt, während das andere, das sie bei einem geschlossenen Stromkreislauf dann aufnimmt, reduziert wird.

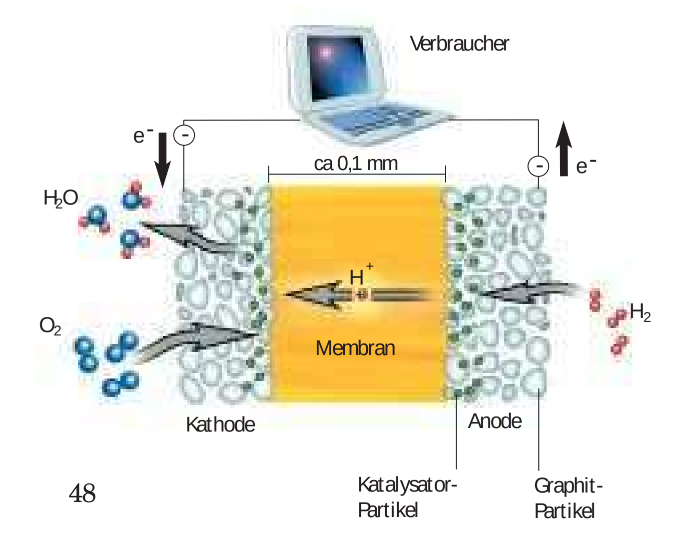
Auch der englische Gelehrte Sir William Grove (1811–1896) verstand die Elektrochemie noch nicht im Detail, als er im Februar 1839 berichtete, Wasser elektrisch in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten und diese Reaktion dann als kalte Verbrennung umgekehrt zu haben. Der Basler Chemiker Christian Friedrich Schönbein (1799–1868) hatte diesen Effekt zwar schon im Monat zuvor ausführlich beschrieben, doch Grove war es, der drei Jahre später die ersten funktionsfähigen Brennstoffzellen baute.

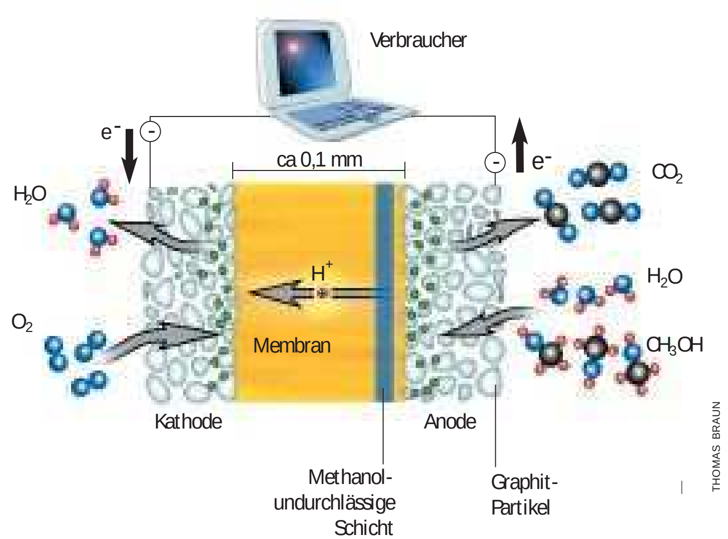
Beide Energiequellen, Batterien und Brennstoffzellen, wandeln zwei Reaktionspartner in einer elektrochemischen Reaktion um, doch bei der Batterie verbleiben die Produkte, während die Brennstoffzelle sie bespielsweise als Wasserdampf entlässt. Zudem entnimmt sie einen der Reaktionspartner – den Sauerstoff – einfach aus der Luft, statt ihn zu speichern. Um einen Akku zu laden, legt man eine elektrische Spannung an und kehrt die Reaktion um, bis der Ausgangszustand wieder erreicht ist, und das kann Stunden dauern. Eine Brennstoffzelle wird schlicht frisch betankt.

Erst Mitte des 20. Jahrhunderts erreichten die Systeme einen Reifegrad, der sie trotz hoher Kosten für Militär und Raumfahrt interessant machte. In den letzten Jahren wurden erhebliche Mittel

ENERGIE AUS WASSERSTOFF UND LUFT

So läuft es im Grunde ab (links): An der Anode wird Wasserstoff (H_2) auf dem Katalysator oxidiert, dabei entstehen je zwei positiv geladene Wasserstoff-Ionen (Protonen, H^+) und Elektronen (e^-). Erstere wandern durch die Kunststoffmembran zur linken Elektrode (Kathode), wo sie mit Sauerstoff aus der Luft (O_2) und Elektronen nach der Formel $O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^- \longrightarrow 2\,H_2O$ zu Wasser reagieren. In der Direktmethanol-Zelle (rechts) ersetzt ein Gemisch aus Methanol und Wasser den reinen Wasserstoff.





THOMAS BRAUN

für's Handy

in die Entwicklung von Brennstoffzellen als Energiequellen für Automobile sowie für dezentrale Blockheizkraftwerke gesteckt. Mittlerweile gibt es Prototypen, und die Markteinführung solcher Systeme dürfte nicht mehr lange auf sich warten lassen (Spektrum der Wissenschaft 7/1995, S. 88).

Der Gedanke liegt nahe, auch tragbare elektronische Geräte damit elektrisch zu versorgen. Die Technologien lassen sich aber nicht eins zu eins übertragen, denn der Leistungsbereich ist ein anderer: Ein Handy im Ruhemodus verbraucht gerade mal 20 Milliwatt, ein aktiver Laptop 20 Watt. Brennstoffzellen für Automobile sind auf das mehr als 4000fache optimiert. Entsprechende Techniken können aber nicht einfach auf die Anwendung in tragbaren Geräten sozusagen „herabskaliert" werden.

Für den Betrieb nahe der Raumtemperatur kommt vor allem die PEM-Brennstoffzelle in Frage. Namensgebend ist die Polymermembran, die als Elektrolyt fungiert. Sie vermag Protonen, also elektrisch positiv geladene Wasserstoff-Ionen, abzuleiten, weil sie negative Ionen-Gruppen enthält: Der Ladungsausgleich erlaubt den Protonen ihren Aufenthalt in der Membran. Dazu kommt noch ein geringer Wassergehalt, der die Wasserstoff-Ionen beweglich macht. Um die Reaktionspartner an Kathode und Anode voneinander zu trennen, muss dieser Kunststoff gasdicht sein. Eine hohe chemische Stabilität garantiert eine lange Gebrauchsdauer.

Die Elektroden sind poröse, gasdurchlässige Strukturen aus Graphitfasern oder -pulvern, die auf der Membranseite mit fein verteilten, nur Nanometer großen Platin-Partikeln beschichtet sind, an denen die elektrochemischen Reaktionen ablaufen (siehe Grafik links).

Wasserstoff eignet sich für diese Anwendung besonders gut, denn von keinem anderen Brennstoff lassen sich bei Betriebstemperaturen von weniger als 50 Grad Celsius so leicht Elektronen abspalten. Das liegt natürlich am einfachen Aufbau des Wasserstoff-Moleküls aus nur je zwei Protonen und Elektronen. Dennoch erfordert selbst dessen Spaltung einen Katalysator, also einen Stoff, der die Reaktion sozusagen auf einen schnelleren Weg umleitet. Das Edelmetall Platin hat sich dafür besonders bewährt, schon Grove nutzte dieses Material.

Platin beschleunigt auch die Reduktion des Sauerstoffs zu Wasser an der Kathode. Die ist deutlich komplexer, da bereits zehn Teilchen beteiligt sind: zwei Sauerstoffatome sowie jeweils vier Elektronen und Protonen. Um ein Wassermolekül zu bilden, müssen fünf davon zusammentreffen. Das geschieht auch auf einem hochaktiven Katalysator wie Platin nur langsam. Um dies auszugleichen, wird Energie aufgewendet, geht mithin für die Umwandlung in Elektrizität verloren. Diese Verluste wachsen mit dem Strom, der aus der Brennstoffzelle abgezogen wird, und die gelieferte elektrische Spannung sinkt im Gegenzug. Theoretisch kann eine Wasserstoff/Sauerstoff-Zelle 1,23 Volt liefern, wäre also beispielsweise einem Nickel/Metallhydrid-Akkumulator vergleichbar. In der Praxis verringern die Verluste diesen Wert je nach Strombelastung auf 0,6 bis 1,0 Volt. Im ersten Fall beträgt der Wirkungsgrad fünfzig Prozent, das heißt die Hälfte der im Brennstoff enthaltenen Energie wird verstromt.

Um eine Spannung von 3, 4, 6 oder 12 Volt zu erreichen, wie sie die diversen tragbaren Geräte erfordern, schalten die Entwickler einzelne Zellen hintereinander, sodass sich ihre Spannungen addieren. Dafür gibt es zwei Varianten. In ▶

Elektrode
Versorgungskanal
Katalysatorschicht
Membran

ATELIER KÜHN

Portable Geräte sind ein interessanter Markt für Brennstoffzellen.

Anlehnung an die leistungsoptimierten Brennstoffzellen für Automobile nutzen beispielsweise die Forscher des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE in Freiburg die so genannte bipolare Bauweise: Die positive Elektrode einer Zelle wird dort über eine elektrisch leitende, aber die Gase trennende flächige Verbindung – die Bipolarplatte – mit der negativen Elektrode der jeweils nächsten Zelle verbunden. So entsteht ein Stapel von Brennstoffzellen (englisch *stack*).

Diese Bauform ermöglicht großflächige Elektroden und damit einen geringen Innenwiderstand, also hohe Leistung der Gesamtanordnung, hat dafür aber einiges an Gewicht. Außerdem müssen die durch Bipolarplatten separierten Zellen einzeln mit Gas versorgt werden. Auf der Hannover-Messe präsentierte das ISE in diesem Jahr ein streichholzschachtelgroßes Modul, das mit zehn Watt Leistung bei acht Volt ausreichend Strom für einen Camcorder liefern soll.

Sind die Zellen noch klein genug, kann Sauerstoff ohne Gebläse aus der Luft in die Kathode eindiffundieren und auch der Wasserdampf entweicht ohne Hilfsmittel. Problematisch ist es, Wasserstoff-Zuleitungen und Elektroden jeder Zelle gasdicht nach außen abzuschließen. Das Material der stromdurchflossenen Bipolarplatten darf sich in Kontakt mit der chemisch sauren Membran und dem Wasser oder Wasserdampf, der in den Zellen bei der Reaktion entsteht, zudem nicht zersetzen. Denn die Korrosionsprodukte könnten den Katalysator deaktivieren oder die Protonenleitfähigkeit der Membran beeinträchtigen. Rostfreier Stahl wäre deshalb der Baustoff der Wahl: Er ist billig und lässt sich durch Pressen und Stanzen in Platten mit weniger als einem Zehntel Millimeter Stärke bringen.

Einfacher als diese Bipolar-Bauweise ist meines Erachtens eine Reihenschaltung: Mehrere Zellen werden in einem Modul mit gemeinsamer Gasversorgung so verschaltet, dass jeweils die positive Elektrode der einen „Einzelzelle“ quer durch die Membran mit der negativen Elektrode der nächsten Zelle verbunden ist. Wasserstoff gelangt nun zu allen Einzelzellen gleichzeitig, und nur die komplette Anordnung ist abzudichten. Denn anders als bei der Verwendung von Bipolarplatten muss das Außengehäuse zudem keinen Strom leiten und kann somit aus leichtem Kunststoff bestehen.

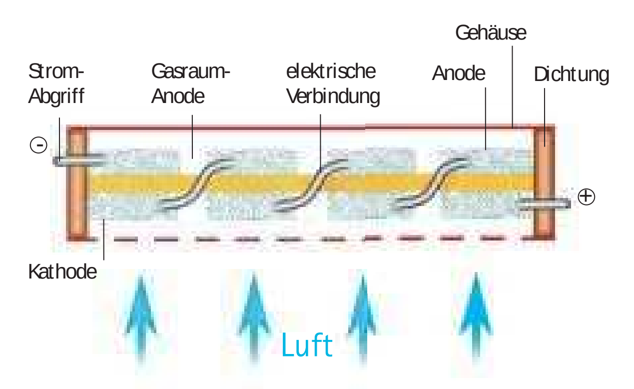
Wasserstoff ist aber ein problematischer Brennstoff. Bei Raumtemperatur und normalem Umgebungsdruck gasförmig, wiegt ein Liter davon 0,089 Gramm. Theoretisch enthält diese Menge 2,9 Wattstunden Energie. Lässt sich die Hälfte davon wirklich nutzen, könnte eine Brennstoffzelle mit dieser Menge Wasserstoff eine Stunde lang bei einer Spannung von 1,5 Volt einen Strom von einem Ampere liefern; das entspricht einer Strommenge, die für 75 Stunden Stand-by-Betrieb eines Handys ausreicht. Wie aber wäre diese Menge Gas zu speichern?

Wo immer Wasserstoff in der Industrie benötigt wird, komprimiert man ihn durch hohen Druck von bis zu 300 bar. Dementsprechend stabil muss ein Tank gebaut sein, zwangsläufig wird er dabei schwer. Auch Ventile, die das Gas für den Gebrauch entspannen, haben ihr Gewicht. Den gleichen Effekt hat auch die Abkühlung auf minus 253 Grad Celsius: Der Wasserstoff wird flüssig. Doch die erforderliche Isolation macht auch diese Art der Speicherung im Wortsinne für die gewünschte Anwendung untragbar, darüber hinaus gibt es Verluste durch verdampfenden Wasserstoff.

Alternative Wege werden intensiv erforscht. Vielversprechend sind vor allem so genannte Metallhydride. Das sind bestimmte Metalle, die Wasserstoff vorübergehend in ihr Kristallgitter einbauen können, und zwar an Plätze, die zwischen den Metallatomen sitzen. Die Aufnahmekapazität ist begrenzt, derzeit liegt sie bei maximal zwei Prozent des Gesamtgewichts. Um den Speicher zu beladen, wird das Metall unter leichtem Druck dem Gas ausgesetzt, das dann eindiffundiert. Das Entladen erfolgt unter Wärmezufuhr und Normaldruck. Die genauen Werte lassen sich recht gut über die chemische Zusammensetzung des Metallhydrids einstellen, sodass keine Ventile notwendig sind. Es ist denkbar, dass ein Kunde im Elektrofachgeschäft einen leeren Metallhydrid-Speicher gegen einen vollen tauscht oder ihn zu Hause zum Aufladen an einen – momentan noch recht teuren – Elektrolyseur anschließt.

Mit einem solchen Tank erreichen die Entwickler zur Zeit Energiedichten von 0,2 Wattstunden pro Gramm Gesamtsystem. Das übertrifft bereits die Werte von Nickel-Metallhydrid-Batterien, schöpft das Potenzial dieser Technik aber noch nicht aus. Die Entwickler

KOMPAKT VERKETTET



THOMAS BRAUN

Durch geschickte Serienschaltung einzelner Brennstoffzellenelemente entsteht ein kompaktes Modul, das die erwünschten Spannungswerte liefert. Der Brennstoff wird in einen für alle Elemente gemeinsamen Gasraum gespeist.



EUROPEAN FUEL CELL FORUM

Schon kein Portable mehr: Eine am PSI entwickelte 300-Watt-Brennstoffzelle treibt diesen Trimaran der Fachhochschule Yverdon voran. Das Wasserstoff-Luft-System wiegt ohne Tank 12 Kilogramm.

glauben, dass die Wasserstoff-Kapazität des Speichermediums fünf Prozent erreichen könnte.

Die Grundlagenforscher untersuchen einen anderen viel versprechenden Werkstoff: Kohlenstoffröhrchen mit nur einem Nanometer Durchmesser, so genannte *Carbon Nano Tubes* (CNT), könnten bis zu 15 Prozent ihres Gewichtes an Wasserstoff zu speichern. Damit würden Brennstoffzellen mit einer Energiedichte von über einer Wattstunde pro Gramm möglich, mehr als konventionelle Akkus erreichen. Ein so ausgerüstetes Handy könnte 80 Tage auf Stand-by stehen.

Eine solche neue Tanktechnologie würde den Durchbruch für Wasserstoff-Luft-Brennstoffzellen bedeuten. Noch ist es nicht so weit, deshalb werden alternativ dazu Systeme mit anderen Energieträgern wie Methanol untersucht. Dieses Molekül ist mit nur einem Kohlenstoff-, einem Sauerstoff- und vier Wasserstoffatomen der einfachste Alkohol (CH_3OH). Man gewinnt es aus Erdgas, aber auch aus nachwachsenden Rohstoffen. Bei Raumtemperatur und normalem Umgebungsdruck ist Methanol flüssig und lässt sich ohne größeren Aufwand abfüllen und aufbewahren. Da es giftig ist, würde man vermutlich bereits gefüllte Tanks im Laden erwerben. Obwohl es komplexer als Wasserstoff (H_2) ist, vermögen bekannte Katalysatoren das Molekül doch bei Temperaturen unter 50 Grad Celsius elektrochemisch zu oxidieren. Für die energiereicheren höherwertigen Alkohole wie Ethanol (C_2H_5OH) oder reinen Kohlenwasserstoffe wie Propan (C_3H_8) sind solche Katalysatoren derzeit nicht bekannt.

Die Schattenseite: Die Oxidation von Methanol verläuft wesentlich langsamer als die von Wasserstoff, deshalb lässt sich auf vergleichbaren Katalysatorflächen weniger Strom erzeugen. Wo in erster Linie Leistung zählt wie bei Automobilen, wird dieser Energieträger deshalb nicht direkt „verbrannt“, sondern nur als leicht handhabbare Speicherform für Wasserstoff verwendet. Den gewinnt energieaufwendig eine Reformer genannte Komponente solcher Systeme. Bei tragbaren Geräten mit ihrem geringeren Leistungsbedarf lässt sich der Nachteil langsamerer Oxidation aber in Kauf nehmen. Immerhin: Theoretisch ist wieder eine Wattstunde pro Gramm Gesamtgewicht möglich.

Der Aufbau einer *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) ist dem einer Wasserstoff-Luft-Brennstoffzelle sehr ähnlich (siehe Grafik Seite 48). Als Elektrolyt kommt ebenfalls eine Protonen leitende Membran zum Einsatz, und an der Kathode wird wieder Sauerstoff der Luft zu Wasser reduziert. Der Unterschied zeigt sich an der Anode: Dort füllt man ein Gemisch aus Methanol (CH_3OH) und Wasser (H_2O) ein; bei der Oxidation entstehen Protonen (H^+), Elektronen (e^-) und Kohlendioxid (CO_2) nach der Formel $CH_3OH + H_2O \longrightarrow 6\ H^+ + 6\ e^- + CO_2$. Die Elektrode ist wieder porös und enthält den Katalysator, muss aber nun von den Flüssigkeiten benetzbar und für Kohlendioxid durchlässig sein.

Eine solche Zelle liefert 0,4 bis 0,8 Volt, zur Erhöhung der Spannung werden einzelne DMFC-Zellen wieder seriell verschaltet. Nutzt man dabei erneut das eingangs geschilderte Prinzip, ergeben sich sehr dünne Brennstoffzellen. In einer amerikanischen Studie für Handys liegen sie an der Außenseite des Gehäuses, damit die Luftzufuhr zur Kathode gewährleistet ist. Ein 17 Kubikzentimeter großer Methanol/Wasser-Tank liefert 54 Wattstunden, von denen – vorsichtig angenommen – 30 Prozent verstromt werden. Ein solches Modul würde also zehnmal so viel Energie speichern wie eine Lithiumbatterie mit vergleichbarem Gewicht. Die Leistung dieses Prototyps – also die Energieabgabe pro Zeit – ist auf Grund der langsamen Methanol-Oxidation aber selbst für ein Handy im Sendemodus zu gering. Deshalb bauten die Entwickler einen Akku ein, den die Brennstoffzelle auflädt.

(Auch am Forschungszentrum Jülich arbeiten Wissenschaftler an der DMFC. Besondere Aufmerksamkeit widmeten sie in den letzten drei Jahren den Strömungsverhältnissen in der Zelle, schließlich fließen auf derselben Seite ein Methanol-Wassergemisch und Kohlendioxid. Derzeit erreichen die Forscher eine Leistung von 500 Watt und eine Leistungsdichte von 120 Watt pro Liter. Im Betrieb erwies sich die Zelle zudem als sehr robust. Die Redaktion)

Praktische Probleme machen bei allen DMFC-Projekten noch die Polymermembranen, denn sie sind etwas durchlässig für Methanol. Eine geringe Menge kann somit von der Anode zur Kathode diffundieren und dort mit Sauerstoff reagieren, ohne Strom zu produzieren. Dieser *Cross over* verbraucht Brennstoff; er entspricht der Selbstentladung konventioneller Batterien. Eine Möglichkeit, dies zu verhindern, wäre eine Barriere etwa in Form einer dünnen methanolundurchlässigen, aber Protonen leitenden Schicht auf der Anodenseite der Membran.

Der letzte Weg passt gut in das Konzept einer Massenproduktion solcher Systeme. Da Elektroden, Membran und Methanol-Diffusionssperre aus Schichten dünner als ein Zehntel Millimeter bestehen, und zum Teil auch noch strukturiert sind, könnten ähnliche Fertigungsmethoden wie in der Halbleiterindustrie zum Einsatz kommen.

Mehr Energie und schnelleres Nachladen – das sind theoretisch die Vorteile von Brennstoffzellen gegenüber Akkus. Vermutlich dürften noch einige Jahre vergehen, bis diese Probleme gelöst sind und Brennstoffzellen für tragbare Geräte in Massen gefertigt werden. Dann wird sich zeigen müssen, ob weiterentwickelte Batterien konkurrieren können. Das Rennen ist noch offen. ■



FRAUNHOFER ISE

Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg entwickelte diese PEM-Brennstoffzelle, die einen Camcorder mit Energie versorgen könnte. Zwischen zwei Lüftern befinden sich gestapelte Bipolarplatten mit feinen Kanälen (unten). Ein Metallhydrid-Speicher (oben) liefert den Wasserstoff.



Felix Büchi *ist Projektleiter im Bereich Brennstoffzellenforschung am Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen (Schweiz).*

Die CYBER-REISENDEN

Dieses neuartige elektronische Medium erzeugt dreidimensionale Kopien weit entfernter Gesprächsteilnehmer. Durch Tele-Immersion gewinnen mehrere Dialogpartner den verblüffend echten Eindruck, in einem gemeinsamen Raum körperlich anwesend zu sein.

Von Jaron Lanier

Wie die meisten meiner Kollegen nutze ich Videokonferenzen häufig, aber zugleich auch ungern. Zwischenmenschliche Kommunikation hat wichtige nonverbale Aspekte, doch Videokonferenzen scheinen geradezu darauf abzuzielen, die nicht-sprachlichen Komponenten zu stören. So ist es etwa mit heutigen Systemen unmöglich, echten Blickkontakt herzustellen, weil Bildschirm und Kamera nicht exakt denselben Platz einnehmen können. Meist entsteht dadurch eine sterile und förmliche Atmosphäre, denn im normalen Gespräch bauen wir unbewusst über Blickkontakt Vertrauen auf. Außerdem sind die Teilnehmer einer Videokonferenz nicht fähig, ein Gefühl für Abstand und Körperhaltung der anderen zu entwickeln; sie können einander weder gezielt Aufmerksamkeit schenken noch individuell Zustimmung oder Widerspruch ausdrücken.

Erst ein neuartiges digitales Medium namens Tele-Immersion (etwa: Eintauchen) erzeugt die fast perfekte Illusion, der Nutzer befinde sich in ein und demselben Raum mit Gesprächsteilnehmern, die in Wirklichkeit hunderte oder tausende Kilometer entfernt sind. Dieses Medium kombiniert die Simulationsverfahren der „Virtual Reality“ mit einer neuen Bildtechnik, die die Möglichkeiten herkömmlicher Fernsehkameras weit hinter sich lässt. Die Teilnehmer erscheinen einander nicht mehr als Objekte, die von einem fixen Standort aus passiv beobachtet werden, sondern als „bewegliche Skulpturen“: Jeder vermag mit anderen einen lebensecht wirkenden Raum zu teilen und frei zu erkunden.

Die Tele-Immersion soll aber nicht nur herkömmliche Videokonferenzen verbessern, sondern ist bewusst als besonders anspruchsvolle Anwendung konzipiert, um die Entwicklung digitaler Netze voranzutreiben. Wenn ein Computernetz für Tele-Immersion geeignet ist, kann es wahrscheinlich auch alle anderen Anwendungen unterstützen. Denn die Tele-Immersion erfordert – außer den üblichen Ansprüchen an großen Informationsfluss und hohe Zuverlässigkeit – vor allem möglichst geringe und unauffällige Verzögerungen der Datenströme.

Die Tele-Immersion vereint virtuelle Realität und digitale Vernetzung mit computergestützten Bildverfahren und neuartigen Nutzerschnittstellen. Schon 1965 stellte Ivan Sutherland, ein Gründervater der Computergrafik, seine Idee des „ultimativen Displays“ vor. Damit würde der Nutzer einen vollständig vom Computer erzeugten Raum als täuschend echt erleben. Sutherland nannte einen solchen Raum eine „virtuelle Welt“, in ▶



FOTO: DAN WINTERS



Dank Tele-Immersion scheint Jaron Lanier dem Betrachter in Chapel Hill (US-Bundesstaat North Carolina) leibhaftig gegenüber zu sitzen. In Wirklichkeit befindet Lanier sich in seinem Büro in Armonk (New York).

Anlehnung an einen Begriff der amerikanischen Philosophin Suzanne K. Langer. 1968 realisierte Sutherland erstmals eine virtuelle Welt mit einem so genannten Helmdisplay. Im Helm war vor jedem Auge ein Display angebracht, um dem Nutzer die stereoskopische Illusion eines dreidimensionalen Raums zu vermitteln. Bewegte er den Kopf, so berechnete ein Computer möglichst schnell die entsprechende Szene, um den Eindruck zu erwecken, die digital erzeugte Welt stehe still, während der Nutzer sie erkundete.

EIN UNTERNEHMEN FÜR VIRTUELLE REALITÄTEN

In den achtziger Jahren fand ich mich unversehens an der Spitze der ersten Firma, die Geräte zur Erzeugung und Wiedergabe virtueller Welten auf den Markt brachte. Daran war eigentlich die amerikanische Ausgabe der vorliegenden Zeitschrift schuld: Im September 1984 widmete Scientific American den neuesten digitalen Technologien ein ganzes Heft und wählte als Titelbild eines meiner Experimente zur visuellen Programmierung (Spektrum der Wissenschaft 11/1984). Irgendwann rief mich ein leicht verstörter Redakteur an und wollte wissen, für welche Institution ich eigentlich tätig sei. Ich erklärte ihm, dass derzeit weder ich noch die präsentierte Arbeit einem Institut gehörten. „Sehr geehrter Herr", versetzte er, „bei Scientific American gilt die strikte Regel, dass die Zugehörigkeit eines jeden Autors aufgeführt werden muss."

„VPL Research", stammelte ich – für Visual oder Virtual Programming Language –, und damit schlug die Geburtsstunde von VPL. Nach Erscheinen des Hefts interessierten sich Investoren für meine Arbeit, und die Firma wurde Wirklichkeit. Mitte der achtziger Jahre begann VPL mit der Vermarktung von Geräten für virtuelle Welten und wurde durch die Einführung so genannter Datenhandschuhe bekannt – im Oktober 1987 erneut Titelthema bei Scientific American (Spektrum der Wissenschaft 12/1987).

VPL führte damals die ersten Experimente zur „Virtual Reality" durch, wie ich es nannte. Virtuelle Realität vereint die Idee der virtuellen Welten mit Vernetzung, wodurch mehrere Teilnehmer mittels Helmdisplays simultan in eine virtuelle Umgebung versetzt werden. 1989 kam VPL mit RB2 („Reality Built For Two") heraus; mit diesem Produkt konnten sich zwei Nutzer gemeinsam in einer virtuellen Welt aufhalten.

Damit die virtuelle Realität funktioniert, müssen die Teilnehmer Darstellungen voneinander – so genannte Avatare, nach der irdischen Verkörperung hinduistischer Gottheiten – sehen können. Obwohl unsere ersten Avatare wegen der beschränkten Leistung der damaligen Computer kaum mehr waren als Karikaturen wirklicher Gesichter, wurden dennoch alle Bewegungen naturgetreu umgesetzt und vermittelten damit ein Gefühl von Präsenz, Emotion und Perspektive.

Zunächst war der Zugriff auf unsere virtuellen Welten nur lokal möglich, doch führten wir auch einige Experimente über größere Entfernungen durch. So stellten wir etwa virtuelle Verbindungen zwischen Teilnehmern in Kalifornien und in Japan beziehungsweise in Deutschland her. Diese Versuche belasteten das Netz kaum, da nur die Bewegungen der Teilnehmer übertragen werden mussten und nicht – wie im Falle der Tele-Immersion – die gesamte Oberfläche jeder Person.

Computernetzwerke mit Rückgrat

Parallel zu virtuellen Welten begann sich die Computervernetzung zu entwickeln. Das ursprüngliche Netz, das Arpanet, wurde in den späten sechziger Jahren entworfen. Es diente als Anregung für andere Netzwerke, und in den achtziger Jahren ging daraus das Internet hervor. Mit der Ausweitung des Internets entstanden verschiedene „Backbones." Ein solches „Rückgrat" ist ein Netz im Netz, das Daten über extrem leistungsstarke, vielfach genutzte Verbindungen überträgt, um lange Strecken schneller zu überbrücken. Wichtige Backbones, die der Forschung dienten, waren das Ende der achtziger Jahre gebaute NSFnet sowie das vBNS Mitte der neunziger Jahre. Beide regten neue Anwendungen für das Internet an, insbesondere das World Wide Web. Ein weiteres Backbone-Projekt namens Abilene begann 1998 und dient heute einem Internet2 genannten Universitätskonsortium – dem wichtigsten Konsortium zu Netzentwicklung in den USA.

Gegenwärtig haben mehr als 170 amerikanische Forschungsuniversitäten Zugriff auf Abilene. Wenn Internet2 nur beabsichtigt hätte, eine große Bandbreite – möglichst viele Bits pro Sekunde – zur Verfügung zu stellen, wäre die bloße Existenz von Abilene und verwandter Einrichtungen bereits ausreichend gewesen. Doch die Internet2-Forschung verfolgte weitere Ziele, unter anderem die Entwicklung neuer Protokolle für Anwendungen, die sehr hohe Bandbreiten und sehr kurze Latenzzeiten – Verzögerungen während der Signalübertragung – erfordern.

Internet2 litt unter einem eigentümlichen Problem: Keine bereits existierende Anwendung erforderte die anvisierte Leistungsfähigkeit. Bisher ist die Computerforschung von der plausiblen Vermutung angetrieben worden, dass sich für schnellere und leistungsstärkere digitale Instrumente immer eine künftige Anwendung finden wird, selbst wenn sie jetzt noch gar nicht absehbar ist. Doch im Falle der Erforschung neuartiger

STECKBRIEF

Zwei Probleme ...

➤ Herkömmliche Videokonferenzen vermitteln nicht den Eindruck, als säße man den – in Wahrheit weit entfernten – Gesprächspartnern direkt gegenüber. Es kommt keine natürliche Gesprächsatmosphäre zustande.

➤ Das amerikanische Internet2-Konsortium entwickelt gegenwärtig eine neue Generation digitaler Netze und sucht eine anspruchsvolle Anwendung für die Fernübertragung gewaltiger Datenmengen.

... eine Lösung

Tele-Immersion, ein neues digitales Medium, kombiniert „Virtual Reality" und Videokonferenz: Weit entfernte Gesprächsteilnehmer sowie simulierte Objekte scheinen sich in einem virtuellen Raum zu begegnen, als fände eine reale Besprechung an Ort und Stelle statt.

Innerhalb der nächsten zehn Jahre, so der Autor, könnte Tele-Immersion Wirklichkeit werden. Der dafür nötige Zuwachs an Netz- und Computerleistung ist freilich enorm – eine echte Herausforderung für die künftige Netz-Generation.



MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG DER UNIVERSITÄT VON NORTH CAROLINA IN CHAPEL HILL

Zwei Dialogpartner, die in Wirklichkeit hunderte Kilometer voneinander entfernt sind, betrachten gemeinsam ein computererzeugtes medizinisches Modell; beide können es manipulieren wie ein reales Objekt. Das auf dem Kopf des Nutzers montierte Gerät ermöglicht dem Computer, die Blickrichtung des Nutzers zu bestimmen und daraus die richtige Ansicht der Szene zu berechnen. In Zukunft dürfte dieses Hilfsgerät überflüssig werden.

Hochleistungsnetze reichte dieses Vertrauen nicht aus. Die neuen Ideen mussten konkret erprobt werden.

Allan H. Weis, der eine zentrale Rolle beim Aufbau des NSFnet gespielt hatte, leitete Advanced Network and Services, eine nichtkommerzielle Forschungseinrichtung, die das Ingenieurbüro für Internet2 beherbergte und unterhielt. Er benutzte den Begriff Tele-Immersion, um eine ideale Anwendung für das neue Netz zu umreißen, und bat mich, sie als leitender Wissenschaftler einer „National Tele-Immersion Initiative“ mit Inhalt zu füllen. Da dies die logische Fortsetzung meiner Arbeit an virtuellen Welten für mehrere Nutzer war, nahm ich begeistert an.

Zwei Blickwinkel pro Teilnehmer

Viele Komponenten für eine funktionierende Tele-Immersion – unter anderem das Display-System – mussten erst erfunden oder verbessert werden, doch die größte Herausforderung war das überzeugende Darstellen von Menschen und Orten. Auf den ersten Blick könnte man meinen, das sei dasselbe Problem wie bei Videokonferenzen. Für die Tele-Immersion braucht aber jeder Teilnehmer seinen persönlichen Blickwinkel auf die simulierte Szene – eigentlich sogar zwei, da jedes Auge eine eigene Perspektive haben muss, damit ein räumlicher Eindruck entsteht. Die Teilnehmer sollen sich außerdem frei bewegen können; dadurch ist der Blickpunkt jeder Person in ständiger Bewegung.

Bei Tele-Immersion darf – anders als bei einer feststehenden Kamera – kein Blickpunkt bevorzugt werden. Jeder Raum sowie die Menschen und Dinge darin müssen aus allen Richtungen zugleich wahrgenommen und als bewegte dreidimensionale Skulptur dargestellt werden. Jede ans Netz angeschlossene Station empfängt Daten, die die gesamte variierende Skulptur beschreiben, und berechnet daraus die am Ort jeweils erforderlichen Blickwinkel. Das Abtasten muss in Echtzeit erfolgen – höchstens in Sekundenbruchteilen. Nur dann kann die Skulptur so schnell aktualisiert werden, dass die Illusion fließender Bewegung entsteht. Diese Illusion erfordert mindestens 12,5 Bilder pro Sekunde, wirkt aber erst bei 25 Bildern und mehr wirklich überzeugend.

Um die dreidimensionalen Formen der Anwesenden sowie der Objekte im Raum zu vermessen, schlug Henry Fuchs von der Universität von North Carolina in Chapel Hill schon 1993 ein Verfahren namens Kamerasee vor, bei dem die Aufnahmen zahlreicher Kameras miteinander verglichen werden. Indem geeignete Algorithmen die Winkel bestimmen, unter denen die Kameras bestimmte Einzelheiten einer Gestalt sehen – etwa eine Falte im Pullover –, lässt sich ein dreidimensionales Modell der Szene zusammensetzen.

Diese Technik war bereits in statischen Situationen getestet worden, insbesondere im Rahmen der Forschungsarbeit von Takeo Kanade; sie fand 1995 ihren Höhepunkt in der Vorführung „virtualisierter Realität“ an der Carnegie Mellon University. Der Aufbau bestand aus 51 in einer Kuppel montierten Kameras. Da die Anlage nicht für Echtzeit-Wiedergabe konzipiert war, eignete sie sich nicht für Tele-Immersion. Stattdessen nahmen Videorecorder die Ereignisse in der Kuppel für spätere Verarbeitung auf.

Die Idee eines Echtzeit-Kamerasees faszinierte Ruzena Bajcsy, Leiterin des GRASP-Labors (General Robotics, Automation, Sensing and Perception) an der Universität von Pennsylvania. Sie begann 1994 mit Kollegen in Chapel Hill und an der Carnegie Mellon University kleine „Pfützen“ aus zwei oder drei Kameras zu konstruieren. Bajcsy und Kostas Daniilidis versuchten den ersten Echtzeit-Kamerasee zu entwickeln, der an unterschiedliche Räume und Aufgaben angepasst werden konnte. Dabei arbeiteten sie eng mit dem Chapel-Hill-Team zusammen; es war dafür verantwortlich, die Daten mittels Computergrafik für jeden Nutzer in „lebendige Skulpturen“ und naturgetreue Szenen zu verwandeln.

Ein Kamerasee stellt aber noch keine komplette Lösung dar. Angenommen, eine solche Anlage ist auf eine weiße Wand gerichtet. Mangels Oberflächenstrukturen haben die Kameras keine Möglichkeit, ein räumliches Modell aufzubauen. Ein Mensch kann eine weiße Wand betrachten, ohne verwirrt zu werden: Er befürchtet nicht, vor dem Eingang einer unendlich tiefen weißen Höhle zu stehen, weil er sich nicht nur auf geometrische Hinweise verlässt, sondern Vorwissen über Innenräume besitzt. Leider können heutige Digitalkameras durch die Stirn einer Person oder ihr T-Shirt genauso verwirrt werden wie durch eine weiße Wand, und die verfügbare ▶

KAMERASEEN ERZEUGEN „BELEBTE SKULPTUREN“

Software vermag das Durcheinander noch nicht zu bereinigen.

Forscher in Chapel Hill entwickelten einen viel versprechenden Ausweg aus diesem Dilemma: unsichtbares strukturiertes Licht (imperceptible structured light, kurz ISL). Normale Glühbirnen flackern 50- bis 60-mal pro Sekunde, wodurch ihr Licht dem menschlichen Auge kontinuierlich erscheint. Auch ISL wird als ruhige Lichtquelle empfunden, erzeugt aber in Wirklichkeit rasch wechselnde Muster, die nur von speziellen, genau synchronisierten Kameras erfasst werden können. Diese Muster prägen leeren Flächen, etwa weißen Wänden, Strukturen auf; dadurch kann ein Kamerasee die Messungen interpretieren.

Die Premiere der Tele-Immersion fand am 9. Mai 2000 als virtueller Zusammenschluss von drei separaten Standorten statt. Etwa ein Dutzend Ehrengäste versammelten sich vor dem Telecubicle der Universität in Chapel Hill, einer mit großen Bildschirmwänden ausgestatteten Fernsehkammer, und setzten sich nacheinander in das simulierte Büro von morgen. Selbst für uns, nach drei Jahren Forschungsarbeit, war die Tele-Immersion ein überraschendes und unvergleichliches Erlebnis. Als ich eine Brille mit polarisierenden Gläsern aufsetzte, verwandelten sich zwei Wände des Fernsehraums in Fenster, hinter denen Menschen in anderen Büros saßen und mich direkt ansahen. Indem die Polarisationsfilter die leicht verschobenen Blickwinkel für das rechte und linke Auge selektierten, erzeugten sie einen stereoskopischen Effekt. Durch die eine Wand hindurch begrüßte ich Amela Sadagic, eine Forscherin in meinem Labor in Armonk (New York); hinter der anderen Wand saß scheinbar Jane Mulligan, eine Postdoktorandin an der Universität von Pennsylvania.



Im Gegensatz zu den skizzenhaften virtuellen Welten, mit denen ich viele Jahre lang gearbeitet hatte, wirkten die fernen Personen und Gegenstände, die ich jetzt von nahem erblickte, durchaus realistisch. Sie waren keineswegs perfekt: Das Rauschen im System erzeugte einen Konfetti-Regen, der in den anderen Kammern herabzurieseln schien. Die Bildfrequenz war gering – nur zwei bis drei Bilder pro Sekunde –, es gab Verzögerungen bis zu einer Sekunde, und nur wir in Chapel Hill erlebten den Effekt der Tele-Immersion. Dennoch sahen wir hier eine virtuelle Welt, die nicht nur eine grob vereinfachte Skizze der Realität war, sondern ihr authentisches, auf Messungen beruhendes Abbild.

Störender Konfetti-Regen

Bei einer späteren Vorführung im Oktober 2000 waren die störenden Konfetti fast verschwunden; auch Qualität und Geschwindigkeit des Systems hatten sich verbessert. Doch die wichtigste Neuerung schufen die Forscher um Andries van Dam von der Brown University: Sie brachten zu unserem Tele-Treffen rein virtuelle Objekte mit. Mir saß am Tisch Robert C. Zeleznik gegenüber, der sich in Wirklichkeit in meinem Labor in Armonk aufhielt. Er präsentierte ein simuliertes Miniaturbüro – etwa einen halben Meter breit –, das zwischen uns auf dem Tisch stand. Während wir uns unterhielten, benutzten wir simulierte Laserzeiger und andere Geräte, um die Wände und das Mobiliar gemeinsam zu verändern. Dies war eine erstaunliche Mischung von virtueller Realität und persönlicher Begegnung.

Die Tele-Immersion erfordert aber nicht nur ein Aufnahmesystem, sondern auch Computer, Netzwerkdienste, Displays und interaktive Geräte. Sie alle wurden zusammen mit der Tele-Immersion verbessert, müssen aber noch weiter entwickelt werden. Das neue Medium verschlingt Unmengen von Computerleistung. Um Tele-Immersion bald anwendungsreif zu machen, verwenden wir, wann immer möglich, gewöhnliche Computerkomponenten, wie sie zu Hause und im Büro gebräuchlich sind. An jedem Standort sind Dutzende solcher Prozessoren nötig – entweder in Form von Personalcomputern in Kunststoffgehäusen, die in Regalen aufgereiht stehen, oder als Leiterkarten in Gestellen von der Größe eines Kühlschranks. Ich spreche manchmal scherzhaft von der Anzahl der „Kühlschränke“, die für ein bestimmtes Qualitätsniveau der Tele-Immersion erforderlich sind.

Die meisten Prozessoren dienen dem Erfassen der Szene. Ein Kamerasee besteht aus mehreren einander überlappenden Dreiergruppen von Kameras. Gegenwärtig benutzen wir für eine am Schreibtisch sitzende Person sieben Kameras, die so zusammengeschaltet sind, dass sie praktisch wie fünf Trios wirken. Grob geschätzt müsste ein Cluster von acht Pentium-Prozessoren mit einer Taktfrequenz von je zwei Gigahertz und gemeinsamem Speicher ein Kameratrio in



MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG DER UNIVERSITÄT VON NORTH CAROLINA IN CHAPEL HILL

Drei Nutzer in verschiedenen Städten teilen sich denselben virtuellen Raum, der mittels Tele-Immersion in dieser Fernsehkammer erzeugt wird.

Echtzeit bewältigen. Solche Prozessor-Cluster dürften noch in diesem Jahr zur Verfügung stehen. Obwohl wir erwarten, dass die Computerpreise weiter fallen, wird es noch eine Weile dauern, bis die Tele-Immersion für den allgemeinen Gebrauch erschwinglich sein wird. Ein Cluster aus acht Prozessoren wird vermutlich anfangs 30000 bis 50000 Dollar kosten, und jeder Standort erfordert mehrere davon – je ein Cluster pro Kameratrio. Darin sind noch nicht einmal die Kosten für andere Komponenten enthalten. Wir wissen nicht genau, wie viele Kameras für eine bestimmte Anwendung der Tele-Immersion nötig sein werden. Derzeit schätzen wir, dass eine lockere Unterhaltung mindestens sieben Kameras erfordert; für die anspruchsvollsten Anwendungen – etwa die Fernübertragung medizinischer Operationen sowie ärztliche Konsultation und Ausbildung – könnten sogar sechzig nötig sein.

Computer müssen aber nicht nur die aus den Kameraseen strömenden Bilderfluten bewältigen. Zusätzliche Prozessoren rekonstruieren die Szene und stellen sie, während ein Teilnehmer im Lauf einer Sitzung den Kopf bewegt, aus wechselnden Perspektiven dar. Anfangs benutzten wir einen großen Grafikcomputer; doch seit kurzem verwenden wir gewöhnliche Chips mit billigen Grafikkarten, wobei für jedes Auge ein Prozessor zuständig ist. Andere Prozessoren kombinieren die Daten jedes Kameratrios, erzeugen das unsichtbare strukturierte Licht, messen die Kopfbewegungen der Nutzer, versorgen die Nutzerschnittstelle und erzeugen Simulationen virtueller Objekte.

Bei der Tele-Immersion sind möglichst kurze Latenzzeiten oberstes Gebot. Darum werden Vorhersage-Algorithmen, die Bewegungen vorausberechnen, erhebliche Prozessorleistung verschlingen.

VERZÖGERUNGEN STÖREN DAS GEFÜHL, DA ZU SEIN

Ein Glasfaserkabel überträgt Daten nur mit etwa zwei Dritteln der Vakuum-Lichtgeschwindigkeit, da sich das Licht nicht schnurgerade durch den leeren Raum fortpflanzt, sondern durch das Kabelmedium, in dem es obendrein einen Zickzackkurs beschreibt. Deswegen braucht ein optisches Signal mindestens 25 bis 50 Millisekunden, um den nordamerikanischen Kontinent zu durchqueren – ganz abgesehen von unausweichlichen Verzögerungen durch Zwischenstationen im Netz.

Leider dürfen in einer virtuellen Welt die Latenzzeiten höchstens 30 bis 50 Millisekunden betragen. Längere Verzögerungen ermüden und verwirren den Nutzer, zerstören die Illusion und können sogar Übelkeit verursachen. Darum müssten wir bei einer Unterhaltung von Küste zu Küste, selbst wenn an jedem Ende unendlich schnelle Computer stünden, die Verzögerungen durch Vorhersage-Algorithmen kompensieren. Das ist einer der Gründe, warum derzeit sämtliche Testlabors an der Ostküste liegen.

In den nächsten Jahren möchten wir versuchen, die Datenverarbeitung der Tele-Immersion in Echtzeit an entfernte Supercomputer-Zentren zu delegieren. Damit sich der Zugriff auf die enorme Rechenleistung lohnt, muss der Supercomputer jedoch schnell genug sein, die durch den Umweg entstehende zusätzliche Verzögerung wettzumachen.


MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG DER UNIVERSITÄT VON PENNSYLVANIA

Dieses Bild entsteht durch Vergleich von zwei Kamera-Ansichten einer Person. Die Farben geben die räumliche Tiefe jedes Bildpunkts in der ersten groben Berechnung wieder.

Auch die digitale Bandbreite ist ein entscheidender Punkt. Unsere Ansprüche variieren nach Szene und Anwendung: Je komplexer das Bild, desto mehr Bits pro Sekunde brauchen wir. Große Teile einer Szene, insbesondere die Wände und der Hintergrund, verändern sich praktisch nicht und müssen nicht mit jedem Einzelbild übertragen werden. Eine einzelne am Schreibtisch sitzende Person – ohne Umgebung – erfordert bei einer geringen Bildfrequenz von zwei Bildern pro Sekunde rund 20 Megabit pro Sekunde, allerdings mit Spitzenwerten bis zu 80 Megabit pro Sekunde. Mit der Zeit wird diese Zahl aber durch die Entwicklung besserer Komprimierungsalgorithmen sinken. Da jeder Standort die Datenströme von allen anderen Teilnehmern empfängt, steigt bei einer Drei-Personen-Kommunikation auch die erforderliche Bandbreite auf das Dreifache. Der berühmt-berüchtigte „letzte Kilometer“ der Netzanbindung ist im Fall von Informatik-Instituten heute meist eine OC3-Leitung, die 155 Megabit pro Sekunde übertragen kann – bei langsamer Bildfrequenz gerade ausreichend für eine Drei-Personen-Runde. Die Kapazität einer OC3-Leitung ist jedoch rund hundertmal so groß wie die heutiger Breitband-Verbindungen – und entsprechend teurer.

Ich erwarte, dass wir bald Tele-Immersion ohne Spezialbrillen und andere Hilfsmittel erleben werden. Ken Perlin von der New York University hat den Prototyp eines „autostereoskopischen Displays“ entwickelt, das dies möglich machen könnte.

Gegenwärtig ist die Tele-Immersion noch nicht konkurrenzfähig: Sie ist grob geschätzt hundertmal teurer als andere Kommunikationsmedien und außerdem noch nicht ausgereift. Ich schätze, dass das neue Medium in etwa fünf Jahren für eingeschränkte Anwendungen geeignet sein wird – und erst in etwa zehn Jahren für den allgemeinen Gebrauch.

Eine breit zugängliche Tele-Immersion wird wahrscheinlich eine Vielfalt wichtiger Anwendungen finden. Ingenieurteams können über große Entfernungen am computergestützten Design neuer Maschinen zusammenarbeiten, als hätten sie echte Modelle auf einer gemeinsamen Werkbank vor sich. Archäologen aus aller Welt könnten an einer wichtigen Ausgrabung virtuell teilnehmen. Spitzenfachleute für Gebäude-In- ▶

Wie Tele-Immersion funktioniert

Hier erörtern zwei Dialogpartner über hunderte Kilometer hinweg das Design einer neuen Maschine. Viele Details der hier skizzierten Anlage sind noch Zukunftsmusik.



Unsichtbares strukturiertes Licht

Das bloße Auge nimmt normale Beleuchtung wahr, doch tatsächlich flackern unmerklich kurze Muster auf, mit deren Hilfe der Computer ansonsten strukturlose Flächen richtig zu interpretieren vermag.

Virtueller Spiegel

Viele Nutzer wollen kontrollieren, wie sie und ihre Umgebung für die anderen Teilnehmer aussehen. In diesem hypothetischen Beispiel möchte der Nutzer formeller gekleidet erscheinen als in Wirklichkeit. Die für eine solche Verwandlung nötige Software gibt es noch nicht, aber Vorstadien ähnlicher visueller Filter sind bereits erprobt.

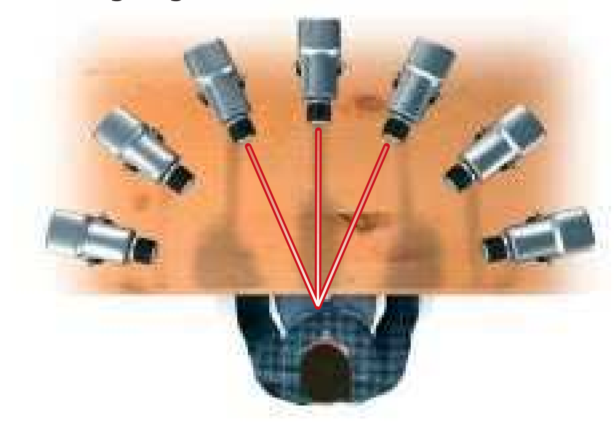
Bildwand

Die heutigen Prototypen verwenden zwei einander überlappende Projektionen polarisierter Bilder und erfordern Spezialbrillen, durch die jedes Auge des Nutzers nur eines der beiden Bilder wahrnimmt. In Zukunft wird diese Technik durch „autostereoskopische" Displays ersetzt werden, die ohne Brillen auskommen.

... zum Empfänger

Aus dem digitalen Modell werden spezielle Abbilder erstellt, die den Blickpunkten der beiden Augen des Nutzers entsprechen. Dieser Prozess wiederholt sich mehrmals pro Sekunde, um mit den Kopfbewegungen des Nutzers Schritt zu halten.

Erzeugung des dreidimensionalen Bildes

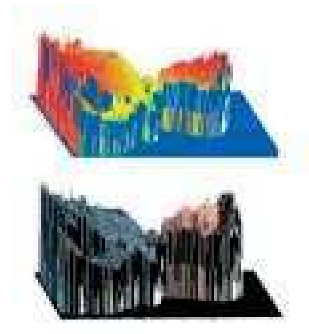


1 Eine Gruppe von Kameras nimmt Menschen und Umgebung aus verschiedenen Blickwinkeln auf. Jede Kamera erzeugt mehrmals pro Sekunde ein Bild.





2 Jede zum selben Zeitpunkt aufgenommene Bildmenge wird als Dreiergruppe einander überlappender Bilder geordnet.



3 Aus jeder Dreiergruppe wird Bildpunkt für Bildpunkt der Grad der Abweichung zwischen den Bildern berechnet. Diese Unterschiede werden dann in punktuelle Bildtiefen umgerechnet, die wiederum zu einem Relief der Szene kombiniert werden.

4 Sämtliche Reliefs werden zu einem vom Blickwinkel unabhängigen Skulpturmodell der Szene in einem bestimmten Augenblick zusammengesetzt. Bei diesem Vorgang lassen sich Streupunkte und Rauschen teilweise entfernen.



JOE ZEFF



DAN WINTERS

Dieser „Kamerasee“ in Chapel Hill besteht aus sieben Kameras, aus deren Einzelbildern per Computer ein räumliches Bild des Nutzers erzeugt wird.

spektion oder Maschinenreparaturen könnten sich vor Ort umsehen, ohne Zeit für den Hin- und Rückflug zu verschwenden.

Die Tele-Immersion könnte – anders als die Videokonferenz – zur echten Konkurrenz für Flugreisen werden. Zwar wird kaum jemand demnächst behaupten, beides sei genau dasselbe, aber für Geschäftsbesprechungen, Fachkonsultationen, Vorlesungen, Verkaufsausstellungen und dergleichen könnte Tele-Immersion durchaus ausreichen. In etwa zehn Jahren könnten Geschäftsreisen weitgehend durch Tele-Immersion ersetzt werden – nicht nur, weil das neue Medium besser und billiger sein wird, sondern weil der Flugverkehr schon heute an sicherheits- und umweltbedingte Grenzen des Wachstums stößt.

Außerdem sind überraschende Auswirkungen auf zwischenmenschliche Beziehungen und soziale Rollen zu erwarten. Diejenigen etwa, die sich Sorgen machen, wie Künstler, Musiker und Schriftsteller angesichts immer schwerer zu schützender Urheberrechte – wegen des unkontrollierten Kopierens von Dateien im Internet – ihren Unterhalt verdienen sollen, haben als Lösung oft persönliche Vorführungen gegen Honorar vorgeschlagen, weil das unmittelbare Dabeisein mehr wert ist als die spätere Reproduktion von der Konserve. Die Tele-Immersion könnte das ästhetische Miterleben so eindrucksvoll und preiswert gestalten, dass daraus vielleicht eine neue Grundlage für künstlerischen Austausch entsteht. Wir dürfen nicht vergessen, dass in früheren Jahrhunderten alle Kunstformen interaktiv waren. Die Musiker standen in direktem Kontakt zu ihren Zuhörern, genau wie die Schauspieler auf der Bühne und die Dichter beim mündlichen Vortrag. Durch Tele-Immersion könnten all diese Kunstformen, indem sie auf das Copyright-Dilemma reagieren, wieder Unmittelbarkeit, Intimität und persönliche Präsenz gewinnen.

Bessere Einfühlung in Andere

Zweifellos wird das neue Medium auch neue Probleme schaffen. Einige Nutzer haben eingewandt, die Tele-Immersion exponiere die Teilnehmer allzu sehr, während Telefon oder Videokonferenz es ihnen leichter machen, ihre Privatsphäre zu schützen – indem sie einfach aufhängen oder aus dem Bild gehen. Ich erwarte, dass wir mit wachsender Erfahrung sowohl Nutzerschnittstellen – wie den digitalen Spiegel auf den Seiten 58 und 59 – als auch Verhaltensregeln entwickeln werden, die solche Probleme lösen.

Ich werde oft gefragt, ob es mir Angst macht, an einer neuen Technik zu arbeiten, die wahrscheinlich einen tief greifenden und noch gar nicht absehbaren Einfluss auf die Gesellschaft ausüben wird. Meine Antwort lautet: Da die Tele-Immersion im Grunde ein Mittel zur besseren Verständigung ist, besagt die Frage eigentlich, wie optimistisch wir die menschliche Natur einschätzen. Ich glaube, dass Kommunikationstechniken die Chancen für Einfühlung in Andere erhöhen und damit moralisches Verhalten fördern. Darum erwarte ich, dass die Tele-Immersion im Wesentlichen Gutes bringen wird. ■

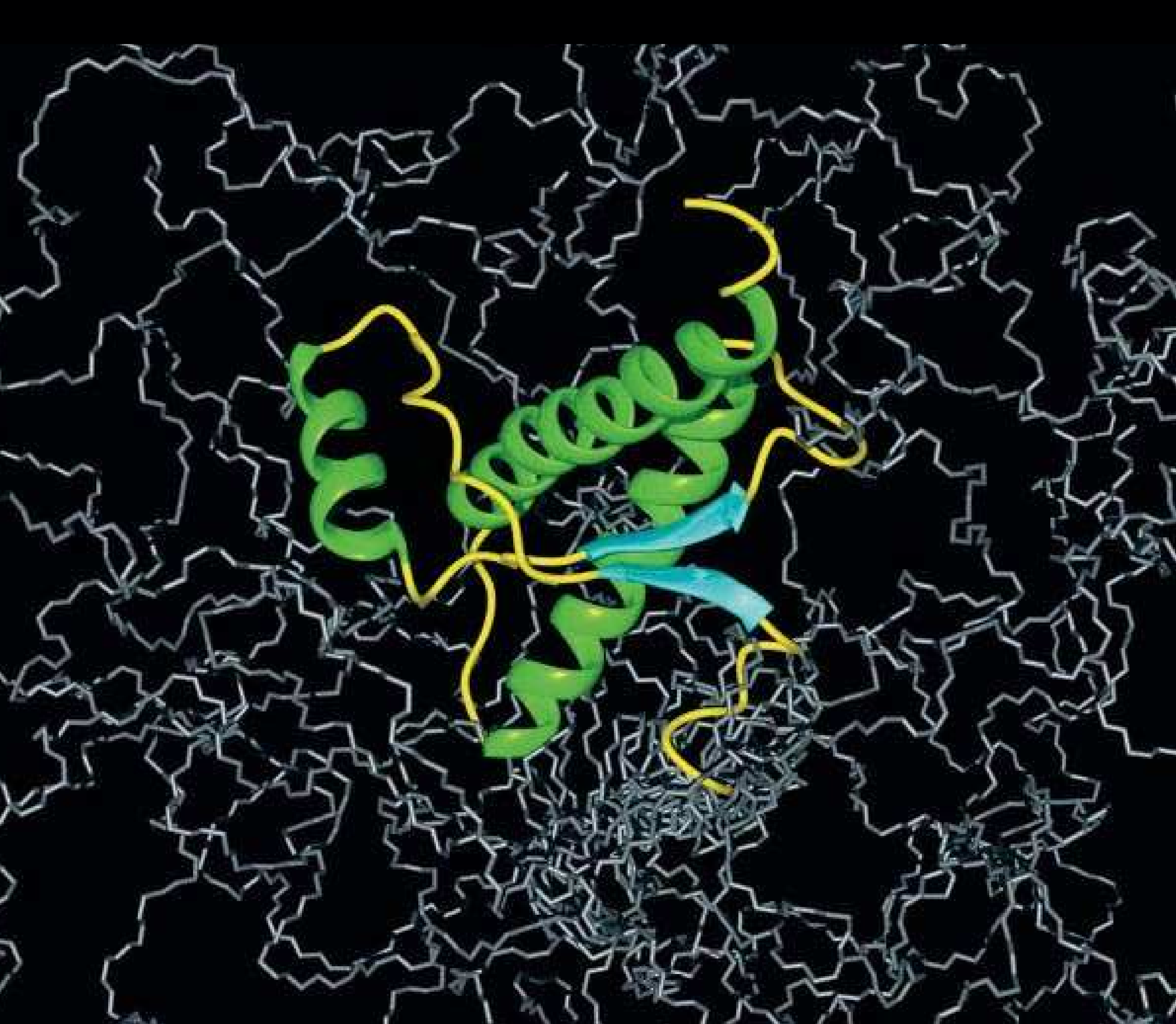
Literaturhinweise

Die National Tele-Immersion Initiative finden Sie im Internet unter:
www.advanced.org/teleimmersion.html
Die Tele-Immersion-Webseite bei Internet2:
www.internet2.edu/html/tele-immersion.html
Informationen über ein Autostereo-Display:
www.mrl.nyu.edu/projects/autostereo
Weitere Weblinks zum Thema finden Sie bei ***www.spektrum.de*** *unter „Aktuelles Heft“.*

Jaron Lanier *ist Informatiker und wird als „Schöpfer der virtuellen Realität“ bezeichnet. Außerdem hat er visuelles Programmieren, Simulationen und Anwendungen für Hochleistungsnetze entwickelt. Er ist leitender Wissenschaftler bei Advanced Network and Services, einem nichtkommerziellen Unternehmen in Armonk (New York), das das Entwicklungsbüro von Internet2 beherbergt und finanziert.*

BSE Übertragung über Artgrenzen

Warum kann BSE überhaupt auf den Menschen überspringen? Forscher suchen nach Antworten in den Prion-Proteinen selbst.



Von Ralph Zahn

Die „Kuh 133“ gilt heute als der erste dokumentierte Fall der Rinderseuche „bovine spongiforme Enzephalopathie“, abgekürzt BSE. Tierärztlich untersucht wurde das Tier im Jahre 1984, weil es auffällig abmagerte und den Rücken merkwürdig krümmte. Später entwickelten sich Koordinationsstörungen und Zuckungen, bevor die Kuh im Februar 1985 verendete. Im Jahr darauf erkannte das Zentrale Veterinärmedizinische Labor im englischen Weybridge sie als Opfer einer bis dahin unbekannten Erkrankung von Rindern, die bald als „Rinderwahnsinn“ Schlagzeilen machte.

Seitdem sind in Großbritannien mehr als 180 000 dieser Fleisch- und Milchlieferanten an BSE erkrankt und getötet worden. Obwohl dort die Epidemie ihren Höhepunkt bereits überschritten hat, erliegen ihr jedes Jahr immer noch mehrere tausend britische Rinder. In Deutschland dagegen scheint die Epidemie erst begonnen zu haben. Den ersten bestätigten BSE-Fall eines in Deutschland geborenen Rindes erbrachte ein Schnelltest am 26. November 2000. Daraufhin kündigte die Bundesregierung ein generelles Tiermehlverbot an, da nach Ansicht von Experten bei der industriellen Herstellung dieses Futtermittels der Erreger nicht immer hinreichend inaktiviert worden war.

Aus der „BSE-Krise“ erwachsen unserer Gesellschaft weit reichende ökonomische, aber auch ethische Konsequenzen. So fallen allein in Deutschland Kosten in Milliardenhöhe an, unter anderem für die Beseitigung von Tierkadavern und Tiermehl sowie für den Einsatz von BSE-Schnelltests. Eine positive Folge jedoch ist, dass der Umgang mit Tieren und deren Haltung neu überdacht wird, um in Zukunft ähnlichen Krisen vorzubeugen.

Beim Menschen wurde eine spongiforme Enzephalopathie, also eine schwammartige Hirnzersetzung, erstmals 1921 korrekt beschrieben. Der Neuropathologe Alfons Maria Jakob berichtete damals aus Hamburg-Friedrichsfeld über „eigenartige Erkrankungen des Zentralnervensystems mit bemerkenswerten anatomischen Befunden“. Irrtümlich meinte er, ein schon im Vorjahr bekannt gemachter Fall, den der Neurologe Hans Gerhard Creutzfeldt in Breslau beschrieben hatte, fiele ebenfalls in diese Kategorie. Darum wurde das unheilbare Leiden schon 1922 als Creutzfeldt-Jakob-Krankheit (CJK) bezeichnet. Betroffen sind zumeist Menschen vorgerückten Alters, jenseits der sechzig. Sie sterben gewöhnlich binnen eines halben Jahres nach Ausbruch der Krankheit.

Manchmal liegt die CJK gewissermaßen in der Familie. Ansonsten tritt sie weltweit nur vereinzelt auf: mit etwa einem Fall je Million Einwohner im Jahr. Umgerechnet auf die Bevölkerung von Deutschland sind hier somit jährlich achtzig bis hundert Erkrankte zu erwarten.

Eine ketzerische Hypothese sorgt für Wirbel

Als 1993 zwei junge britische Bauern an CJK erkrankten, keimte ein erster Verdacht auf, die Fälle könnten mit BSE zu tun haben. Immerhin waren zu diesem Zeitpunkt bereits Zehntausende von infizierten Rindern in die menschliche Nahrungskette gelangt. War der BSE-Erreger entgegen der Meinung einiger Experten fähig, auf den Menschen überzuspringen und damit die so genannte Artenbarriere zu überschreiten? Weitere relativ junge Personen erkrankten an der CJK, mehr als nach der Statistik zu erwarten. 1996 bestätigte sich der Verdacht einer „neuen Variante“ der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit, kurz vCJK. Anders als die bekannten, herkömmlichen Formen begann sie mit psychischen Symptomen, nicht mit motorischen Störungen. Außerdem lag das Durchschnittsalter mit 27 Jahren deutlich niedriger als sonst. Das erste Opfer der neuen Variante, der Brite Stephen Churchill, starb bereits mit 18 Jahren. Bis April 2001 waren dann mehr als hundert Personen daran erkrankt oder verstorben: laut einer Mitteilung der Europäischen Kommission 97 davon allein in Großbritannien, drei in Frankreich, und eine in Irland.

Schon mehr als 250 Jahre vor BSE kannte man bei Nutztieren eine ähnliche schwammartige Auflösung des Gehirns: die „Scrapie“ der Schafe. Im deutschen Sprachraum wird sie auch Traberkrankheit genannt, weil die betroffenen Tiere unter anderem einen merkwürdigen Gang entwickeln. Der Verdacht kam auf, dass zu Tiermehl verarbeitete Schafkadaver die Scrapie auf Rinder übertragen hatten – was übrigens auch heute noch nicht eindeutig zu beweisen ist. Stimmte er, dann war ein höchst ungewöhnlicher Typ von Erregern am Werk.

Bereits 1967 entdeckte die Biologin Tikvah Alper vom Hammersmith-Hospital in London, dass Hirnextrakte erkrankter Schafe selbst nach Einwirken kurzwelliger ionisierender Strahlung noch infektiös blieben. Die gewählte Dosis hätte normalerweise eine aus Nucleinsäuren bestehende Erbsubstanz zerstört oder zumindest geschädigt. Dieser Misserfolg war erstaunlich, da nach damaligem Verständnis alle Krankheitserreger Erbgut aus Nucleinsäuren enthalten sollten. John S. Griffith, ein am Bedford College in London tätiger Mathematiker und theoretischer Chemiker, unterbreitete daraufhin eine geradezu ketzerische Hypothese: Die Erreger der Scrapie bestünden überwiegend oder sogar ausschließlich aus Eiweißstoffen, aus Proteinen. Spätere ähnliche Experimente mit Gehirnextrakten von Patienten, die an der damals bekannten Form der ▶

Steckbrief

Das Problem:
Zwar ist wissenschaftlich nicht eindeutig erwiesen, dass der Rinderwahnsinn die neue Variante der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit verursacht. Denn direkte Experimente am Menschen verbieten sich natürlich. Die Indizienlage ist aber erdrückend. Kann das gesunde körpereigene Prion-Protein des Menschen überhaupt einer BSE-Infektion gewissen Widerstand entgegensetzen?

Die Hypothese:
Je ähnlicher die Prion-Proteine zweier Arten sind, desto leichter kann die Krankheit übertragen werden.

Ein Ergebnis:
Die Prion-Proteine von Mensch und Rind ähneln sich erschreckend in ihrer räumlichen Gestalt, unterscheiden sich aber in der Oberflächenladung. Dies spricht für eine gewisse Artenbarriere bei der Übertragung auf den Menschen.

Wie in Watte gehüllt erscheint hier der „Körper“ des normalen Rinder-Prion-Proteins; eingebettet ist er in zwanzig überlagerte Momentaufnahmen seines langen beweglichen Schwanzes aus 107 Aminosäuren (im Ausschnitt silbrig). Der Körper selbst, gefaltet aus 110 verketteten Aminosäuren, umfasst schraubige (grün), antiparallele (blau) und anderweitig geschlungene Abschnitte (gelb).

Creutzfeldt-Jakob-Krankheit gestorben waren, legten dasselbe nahe. Die meisten Fachleute glaubten seinerzeit aber eher an eine besondere Sorte von Viren.

Bahnbrechende Aufklärungsarbeit zur biochemischen Natur der Scrapie-Erreger leistete Stanley B. Prusiner an der Universität von Kalifornien in San Francisco. Anfang der achtziger Jahre konnte der Neurologe und Biochemiker mit seinen Mitarbeitern erstmals das „infektiöse Agens“ anreichern, um es biochemisch zu charakterisieren. Tatsächlich bestand das Material überwiegend aus Eiweiß, zu einem geringen Anteil auch aus Kohlenhydrat. Folglich bezeichnete Prusiner die Erreger von nun an als *prions*, zu Deutsch „Prionen“, abgeleitet von englisch *proteinaceous infectious agent*, proteinartiges infektiöses Agens. Das gereinigte Protein nannte er entsprechend „Prion-Protein“ oder kurz PrP.

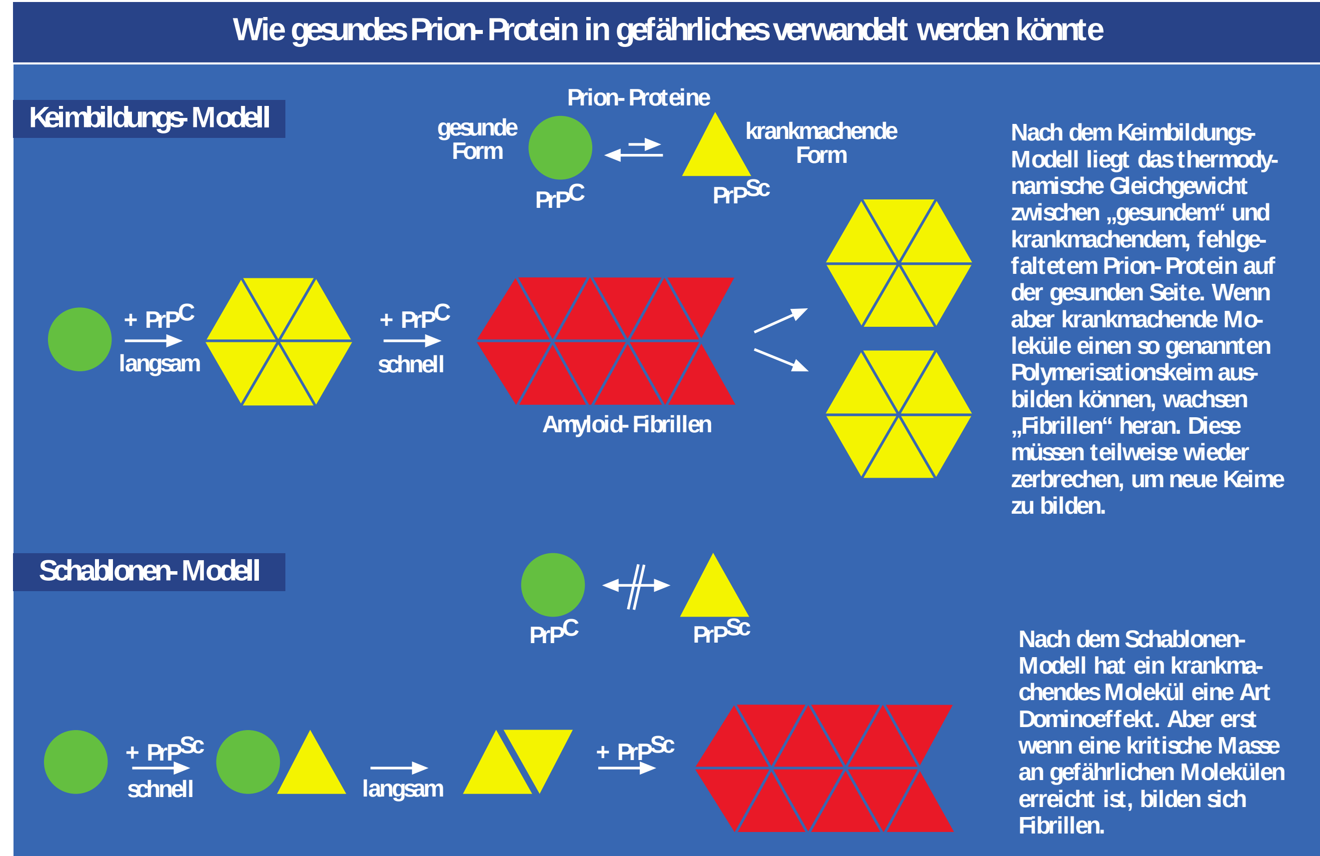
Infektiös wirkt allerdings erst eine Menge, die ungefähr hunderttausend Moleküle einschließt. Selbst mit hoch empfindlichen Verfahren konnte darin später Detlev Riesner mit seinen Kollegen an der Universität Düsseldorf kein Erbmaterial nachweisen. Den Tests zufolge ist auszuschließen, dass unter rund hunderttausend Prion-Proteinen mehr als ein Nucleinsäure-Molekül vorkommt, dessen Länge 80 Nucleotide überschreitet. Auf einem derart kurzen Schnipsel hätte aber keine Bauanleitung für ein Prion-Protein Platz. Zum Vergleich: Die kleinsten Viren besitzen immerhin noch Erbmaterial aus einigen tausend verketteten Nucleotiden.



***Ralph Zahn** ist Privatdozent am Institut für Molekularbiologie und Biophysik der Eidgenössischen Technischen Universität Zürich. Ein Schwerpunkt seiner Forschungsarbeit liegt in der NMR-spektroskopischen Strukturaufklärung verschiedener Varianten des Prion-Proteins. Promoviert hat er 1994 im Fach Biochemie am Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried. Anschließend forschte er zwei Jahre am Cambridge University Chemical Laboratory in Großbritannien.*

Wie vermehrten sich Prionen aber ohne herkömmliche Erbinformation? Dass sie es tun, stand außer Frage. Bekamen zum Beispiel Laborhamster Scrapie-Prionen ins Gehirn injiziert, dann enthielt es schließlich weit mehr davon, wenn die Tiere der Krankheit erlagen. Mit Hilfe molekularbiologischer Methoden entdeckte 1985 Charles Weissmann, der heute an der MRC Unit des Imperial College in London arbeitet, dass befallene, aber auch gesunde Hamster ein körpereigenes PrP herstellen. Von da an unterschied die Fachwelt zwei Formen: das normale, zelluläre PrP^C und das krankmachende, infektiöse PrP^{Sc}, „C“ steht für englisch Zelle und „Sc“ ursprünglich nur für Scrapie, aber inzwischen für jegliche Prionen-Erkrankung. Geradezu fieberhaft wurde nach irgendwelchen Unterschieden in der chemischen Zusammensetzung der beiden Formen gesucht – vergeblich. Als verschieden erwies sich lediglich ihr Verhalten, nicht aber ihr linearer Aufbau.

Während „gesundes“, harmloses Prion-Protein sich gut in Wasser löst, lagern „kranke“ Moleküle sich darin zu fadenförmigen „Amyloid-Fibrillen“ zusammen. Im Gehirn von CJK-Patienten oder von Tieren mit Prionen-Erkrankungen können solche Fibrillen ihrerseits regelrechte Klümpchen bilden. Diese meist kreisförmigen Amyloid-Ablagerungen lösen möglicherweise mit die Krankheit oder ihre Symptome aus. Krankmachende Prion-Proteine sind zudem sehr widerstandsfähig gegenüber Enzymen, die Eiweißstoffe abbauen. Das bedeutet:



R. ZAHN, QUARTERLY REVIEWS OF BIOPHYSICS, BD. 32, S. 309

➤ Einmal entstandene „Amyloid-Plaques“ werden im Gehirn kaum noch beseitigt.

➤ Krankmachendes mit der Nahrung aufgenommenes Prion-Protein wird im Magen-Darm-Trakt nicht zu ungefährlich kleinen Stücken verdaut.

Noch tückischer ist eine dritte Eigenschaft: Erst wenn man Rindermaterial für 20 Minuten bei 3 Bar auf 133 Grad Celsius erhitzt, verringert sich seine Infektiösität um mindestens drei Zehnerpotenzen. Was passiert, wenn diese Bedingungen nicht eingehalten werden, haben wir gerade erst im Falle von BSE erlebt.

Umklappen in die krankmachende Protein-Form

Wenn zwei chemisch gleich gebaute Protein-Moleküle sich derart verschieden verhalten, müssten sie unterschiedlich gefaltet sein. Anders gesagt: Eine Prionen-Krankheit entstünde, indem körpereigenes Prion-Protein eine für den Organismus schädliche Gestalt annimmt. Dies könnte gelegentlich „von selbst“ geschehen, ohne äußere Einwirkungen. Die Anfälligkeit würde sich aber erhöhen, wenn das ererbte PrP-Gen in einer Weise mutiert ist, dass das resultierende Protein-Molekül auf Grund seiner nun ohnehin etwas veränderten Gestalt eher in die „kranke“ Form umklappt. Wie Prusiner 1987 außerdem vorschlug, könnte ein einmal gefährlich gewordenes Prion-Protein selbsttätig gesundes in weiteres krankes Prion-Protein umwandeln und so für seine massive Vermehrung sorgen. Dies würde erklären, warum Prionen-Krankheiten übertragbar sind – sofern mit der Nahrung aufgenommene Prionen ihren Weg ins Gehirn finden.

Nach Prusiners „Schablonen-Modell“ lagern sich je ein gesundes und ein abweichendes Prion-Proteinmolekül zu einem „gemischten Doppel“ zusammen und trennen sich nach vollzogener Umwandlung wieder. Mit jeder neuen Runde sollten sich so die krankmachenden Einzelmoleküle weiter verdoppeln. Aber erst wenn ihre Konzentration eine kritische Grenze erreichte, würden sich daraus auch lange Ketten, also Amyloid-Fibrillen bilden (Grafik links, unten).

Peter R. Lansbury und seine Kollegen an der medizinischen Fakultät der Harvard-Universität in Cambridge (Massachusetts) haben dagegen das so genannte „Keimbildungs-Modell“ vorgeschlagen. Ihm zufolge befinden sich beide Formen des Prion-Moleküls in einem thermodynamischen Gleichgewicht – mit Schwerpunkt auf der gesunden Seite. Das reguläre Einzelmolekül würde also hin und wieder umklappen, sehr viel leichter aber wieder zurück. Erst wenn mehrere krankmachende Einzelmoleküle einen so genannten Polymerisationskeim ausbilden können, was sehr selten geschieht, würden sich schnell weitere Moleküle anlagern. Jede heranwachsende Amyloid-Fibrille müsste allerdings zumindest teilweise wieder zerbrechen, um neue Polymerisationskeime zu bilden (siehe Grafik links, obere Reihe). Sonst wäre keine rapide Vermehrung der kritischen Keime zu erreichen.

Ein Team um Manfred Eigen vom Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen hat die Reaktionskinetik der Modelle detailliert analysiert. Aus diesen Überlegungen sind verfeinerte Versionen hervorgegangen (siehe seinen Artikel „BSE und das Prionen-Problem“, Spektrum der Wissenschaft 4/2001, S. 40). Bisher war allerdings niemand in der Lage, die Probe aufs Exempel mit den Molekülen selbst auszuführen: Kein Trick brachte gentechnisch hergestelltes normales Prion-Protein im Reagenzglas dazu, sich in die schädliche Form umzufalten.

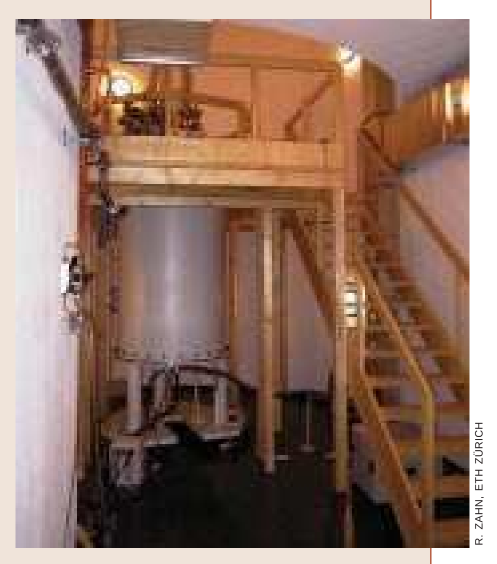
Versuche in Prusiners Labor mit genmanipulierten Mäusen weisen mittlerweile auf einen nötigen Zusatzfaktor hin. ▶

Magnetresonanz-Spektroskopie

Radiosignale aus dem Prion-Protein

Mit der so genannten Magnetresonanz-Spektroskopie lässt sich die räumliche Struktur eines Proteins in Lösung ermitteln, wenn die Reihenfolge seiner Aminosäuren bekannt ist. Die Probe kommt in das homogene Magnetfeld eines supraleitenden Kryomagneten. Wir verwenden sehr hohe Feldstärken bis 21 Tesla. Darin richten sich alle im Molekül befindlichen Wasserstoffkerne ähnlich kleinen Kompassnadeln aus, und zwar auf Grund ihres Kernspins parallel oder – was energieaufwendiger ist – antiparallel.

Wird die Probe nun kurzzeitig einer elektromagnetischen Strahlung ausgesetzt, deren Frequenz dem Energieunterschied der beiden Kernspin-Zustände entspricht, wechseln Kerne in die energetisch höhere Ausrichtung. Beim „Zurückschnellen“ senden sie charakteristische Radiowellen aus. Die empfangenen Signale werden mit Hilfe eines mathematischen Verfahrens in ein Magnetresonanz-Spektrum transformiert: Jedes Wasserstoffatom weist darin eine charakteristische Frequenz auf – abhängig von seinem chemischen Umfeld.



R. ZAHN, ETH ZÜRICH

Blick auf den tonnenförmigen Kryomagneten des NMR-Spektrometers: Die Protein-Probe wird von der Empore aus eingeführt.

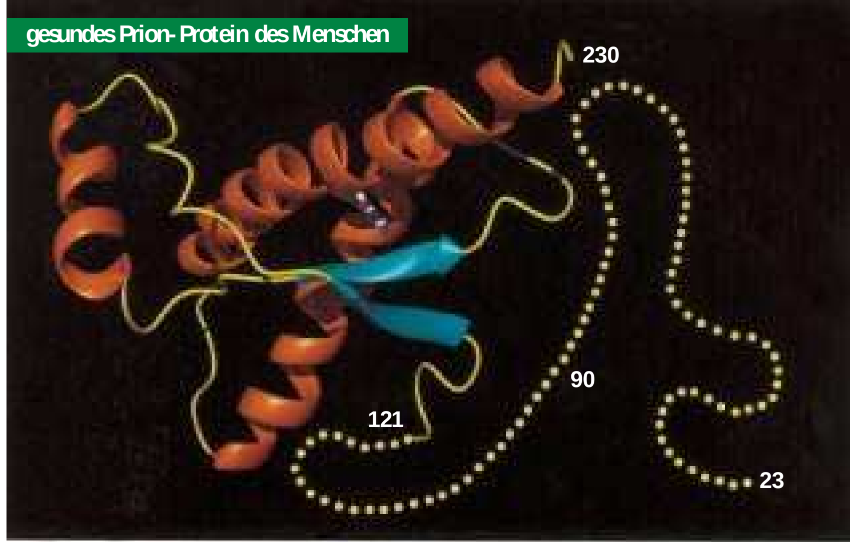
Sind Wasserstoffkerne über wenige Bindungen verknüpft, so „koppeln“ sie miteinander und erzeugen in einem zweidimensionalen Spektrum ein so genanntes Kreuzsignal. Das Ergebnis ist eine Art Gebirgslandschaft, in der die Gipfel den Resonanzlinien entsprechen. Auf diese Weise lässt sich ein bestimmtes Wasserstoffatom einem bestimmten Aminosäuretyp zuordnen. Mit Hilfe von Experimenten, welche die Kopplungen räumlich benachbarter Kerne ausnutzen, kann ein Fachmann Kreuzsignale Atompaaren zuordnen, die in linear aufeinander folgenden Aminosäuren vorkommen. Zusätzliche Kreuzsignale hingegen geben Auskunft über die Abstände von Wasserstoffatomen in nicht sequenziell benachbarten Aminosäuren. Mit dieser Information schließlich vermag er die dreidimensionale Struktur eines gefalteten Proteins zu berechnen.

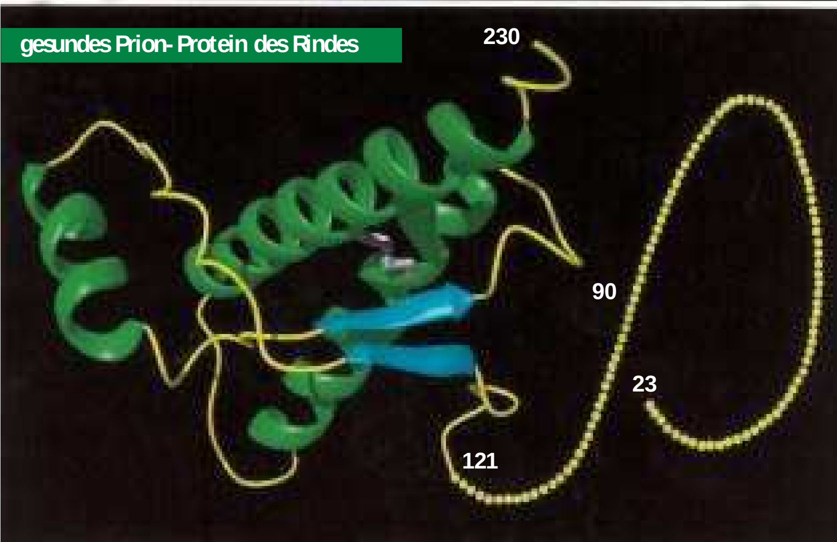
Bei größeren Proteinmolekülen werden die enthaltenen Stickstoff- und Kohlenstoffatome mit geeigneten Isotopen markiert, sodass man auch die Frequenzen dieser Kerne und somit jeweils dreidimensionale Magnetresonanz-Spektren aufzeichnen kann. Dies verhindert ein zu starkes Überlappen der Resonanzlinien, also der Gipfel im Spektrum.

Als mögliche Kandidaten für dieses „Protein X“ kommen unter anderem so genannte Chaperone in Frage. Hierbei handelt es sich um eine Familie von Eiweißstoffen, die anderen Proteinen beim Falten assistieren und Fehler gewissermaßen auszubügeln versuchen. Indem sie fehlgefaltete Moleküle zunächst wieder „aufdröseln“, ermöglichen sie einen neuen – hoffentlich erfolgreichen – Anlauf. So könnten Chaperone auch irgendwie „missgestaltete“ Prion-Proteinmoleküle entfalten, die aber in Gegenwart von krankmachendem Prion-Protein statt einer besseren dann ihrerseits die gefährliche Gestalt annehmen. Da diese sehr stabil ist, entzieht sie sich dem „Entdröseln“. Auf diese Weise würde Protein X die hohe Energiebarriere deutlich erniedrigen, die sonst beim Umklappen von einer bereits gefalteten Form in eine andere zu überschreiten ist.

Ein Protein, das schwänzelt

Zugegeben: Bei der Frage, wie aus einem harmlosen Zellprotein schließlich infektiöse Prionen entstehen, steckt der Teufel noch sehr im Detail. Der Schlüssel zum Verständnis liegt deshalb in der genauen räumlichen Gestalt beider Formen des Prion-Proteins. Dann ließe sich endlich auf molekularer Ebene untersuchen, warum und unter welchen Umständen die reguläre in die krankmachende Variante umkippt.





Gesunde Prion-Proteine von Mensch und Rind: Der kugelige Körper dieser Moleküle enthält drei schraubige Abschnitte (Mensch rot, Rind grün) und eine so genannte Beta-Faltblatt-Struktur (blau). Der frei bewegliche Schwanz der Prion-Proteine ist mit gelben Punkten dargestellt, von denen jeder für eine Aminosäure steht. Die Zahlen bezeichnen die Reihenfolge dieser Bausteine. Die Aminosäuren 1-22 dienen als eine Art Adresskleber, der entfernt wird, sobald der Bestimmungsort erreicht ist.

An der Strukturanalyse dieser Eiweißstoffe arbeitet unser Labor an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich seit 1996. Als Grundmaterial dient Prion-Protein, das uns genmanipulierte Bakterien herstellen. Gefüttert werden die Bioproduzenten mit speziellen Nährstoffen, die das Kohlenstoff-Isotop C-13 und das Stickstoff-Isotop N-15 enthalten. Ohne diesen Trick wäre die räumliche Struktur des relativ großen Proteins nicht genau zu ermitteln. Wir benutzen dazu nämlich die kernmagnetische Resonanzspektroskopie, nach dem englischen Begriff hierfür kurz NMR-Spektroskopie genannt (siehe Kasten Seite 65). Sie erlaubt derzeit als einzige Methode, die genaue Struktur eines in Lösung befindlichen Proteins zu ermitteln. Darüber hinaus lässt sich mit ihr der Faltungsvorgang selbst sowie eine Wechselwirkung mit anderen Proteinen oder Biomolekülen untersuchen. Andere Methoden, wie die Röntgenstrukturanalyse, verlangen Proteinkristalle, die zu erzeugen bei Prion-Proteinen bisher misslungen ist. An starren Kristallen lässt sich natürlich auch nicht der Faltungsvorgang verfolgen.

Zusammen mit Francisco López García und Kurt Wüthrich konnte unser Labor kürzlich erstmals die dreidimensionale Struktur der „gesunden“ Prion-Proteine von Rind und Mensch entschlüsseln (siehe Abbildung links). Beide Moleküle tragen einen langen, frei beweglichen Schwanz; er sitzt an einem eher kugelig geformten „Körper“ mit drei schraubig gewundenen Abschnitten (Alpha-Helices) und einem wellblechartigen Element (Beta-Faltblatt).

Die NMR-Spektroskopie verschaffte uns auch Einblicke in die Bewegungen des Schwanzes. Projiziert man verschiedene seiner ermittelten Strukturen übereinander, so bekommt man einen gewissen Eindruck von seiner Beweglichkeit (siehe Abbildung Seite 62). Eine ähnliche Serie von Momentaufnahmen erhielte man wohl, ließe sich ein einzelnes Prion-Protein für die Spanne einer milliardstel Sekunde in extremer Zeitdehnung filmen. Während dieser Zeit würde sich die übrige gefaltete Kette – innerhalb des kugeligen Proteinkörpers – kaum bewegen. Lange Abschnitte ohne feste räumliche Struktur – wie der Schwanz – kommen in Eiweißmolekülen eher selten vor, könnten aber im Falle des Prion-Proteins für dessen natürliche Funktion bedeutsam sein. Leider wissen wir bisher recht wenig darüber, wozu der Organismus das normale Prion-Protein überhaupt braucht. Bei Mäusen hatte ein vollständiges Entfernen des PrP-Gens keinerlei Folgen, zumindest

unter Laborbedingungen. Sie entwickelten sich normal. Vermutlich ist irgendein anderes Protein eingesprungen. Über das gesunde Prion-Protein wissen wir nur:

➤ Es kommt überwiegend im Nervensystem vor.

➤ Es verankert sich mit einem komplexen Kohlenhydrat an der Außenseite von Nervenzellen; dieses hängt an der Aminosäure Nr. 230 ganz am Ende der Kette.

Das Protein könnte jedoch etwas mit der Übertragung von Signalen zwischen benachbarten Nervenzellen zu tun haben. Immerhin sitzt es unter anderem direkt an den Kontaktstellen, den Synapsen. Vielleicht beteiligt es sich, wie Hans Kretzschmar von der Universität München vermutet, am Transport von Kupfer-Ionen durch die Zellmembran; denn der bewegliche Schwanz weist eine hohe Affinität zu diesen Metall-Ionen auf. Sie sind wichtig für die Funktion von Enzymen, welche die Zelle vor oxidativem Stress schützen.

Resistente Gen-Mäuse

Das krankmachende Prion-Protein selbst widersetzt sich leider noch einer genauen Strukturanalyse, vor allem aus technischen Gründen. Seine Neigung, sich zu Fibrillen zusammenzulagern, verhindert zum einen, Kristalle für eine Röntgenstrukturanalyse zu züchten. Zum anderen lässt sich die NMR-Spektroskopie in Lösung nur auf Proteine mit einem Molekulargewicht bis zu etwa 40000 Dalton anwenden. Die Fibrillen sind aber größer und zudem unlöslich. Auf biologischem Wege aber ermittelte das Labor von Weissmann immerhin, welche Teile das normale Prion-Protein nicht braucht, um in die krankmachende Form umklappen zu können. Die Forscher erzeugten dazu Mäuse, in deren Prion-Protein-Gen unterschiedliche Abschnitte fehlten. Ein langes Stück von Aminosäure 23 bis 88 im flexiblen Schwanz des Prion-Proteins erwies sich als entbehrlich: Die Tiere konnten immer noch mit Prionen infiziert werden. Erst nach einer weiteren Verkürzung waren die Mäuse widerstandsfähig, genauso als besäßen sie gar kein Prion-Protein. Aus biophysikalischen Untersuchungen, vor allem im Labor von Prusiner, ist zudem schon seit 1993 bekannt, dass weite Teile des normalen Prion-Proteins eine Beta-Faltblattstruktur annehmen, wenn es in die pathologische Form übergeht. Darunter fällt auch der Abschnitt zwischen den Aminosäuren 90 bis 120 im frei beweglichen Schwanz, der nach dem Umfalten nicht mehr durch Protein-spaltende Enzyme abgebaut werden kann.

Ein weiteres interessantes Phänomen ist die „Artenbarriere“. Ein Erreger, der eine bestimmte Tierart befällt, lässt sich unter Umständen auf eine andere Spezies übertragen. Es dauert aber dann meist länger, bis die Krankheit ausbricht – wenn überhaupt. Diese Erfahrung machte bereits vor über dreißig Jahren Iain H. Pattison vom britischen landwirtschaftlichen Forschungsrat in Compton, als er den damals unbekannten Erreger der Scrapie von Schafen auf Ziegen zu übertragen versuchte, was auch gelang.

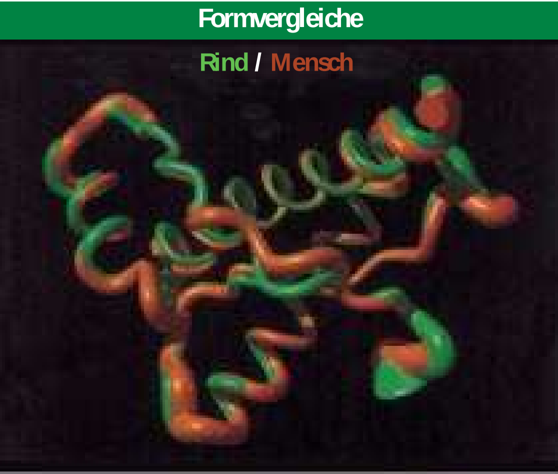
Schutz durch geladene Oberfläche

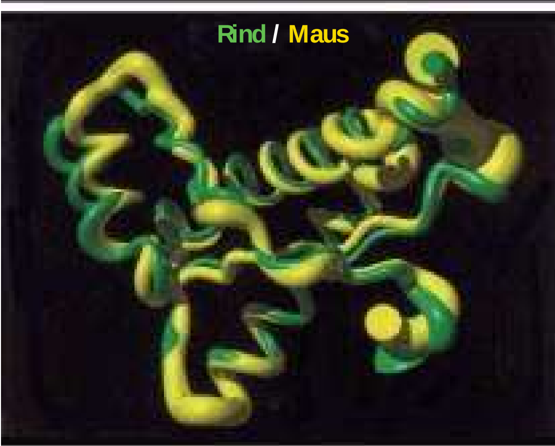
Von 1987 an haben dann Forscher die Frage der Artenschranke untersucht, indem sie eine definierte Menge Prionen direkt in das Gehirn verschiedener Labortiere injizierten. Das Ergebnis: Aus Mäusehirn stammende Prionen lassen beispielsweise Syrische Goldhamster erst nach einer Inkubationszeit von ungefähr 380 Tagen erkranken. Das ist etwa dreimal länger, als wenn man die gleichen Prionen Mäusen injiziert hätte. Umgekehrt beträgt die Inkubationszeit für die Übertragung von Hamster-Prionen auf Hamster nur sechzig Tage, während Mäuse überhaupt nicht damit angesteckt werden können. Die Höhe der Artenbarriere variiert somit je nach Empfänger-Spezies und Herkunft der Prionen.

Den Gegnern der Prion-Hypothese diente die Existenz einer Artenschranke – wie bei „klassischen“ Krankheitserregern – lange als ein Argument dafür, dass hier doch Viren am Werk sein mussten, und zwar so genannte „langsam wirkende“. Die Barriere lässt sich aber auch mit der inzwischen von den allermeisten Forschern favorisierten Protein-Hypothese erklären: Jedes der hier vorgestellten Vermehrungsmodelle setzt ja eine Wechselwirkung zwischen übertragenem und körpereigenem Prion-Protein voraus, und die erfolgt vermutlich nur dann effizient, wenn beide Formen des Proteins von derselben Tierart stammen, also dieselbe Abfolge an Bausteinen, an Aminosäuren, aufweisen.

Wird ein klassischer Erreger aus einem artfremden, aber dennoch erkrankten Tier auf ein weiteres dieser Art übertragen, verkürzt sich nach mehreren solchen „Passagen“ gelegentlich die Inku- ▶

Formvergleiche

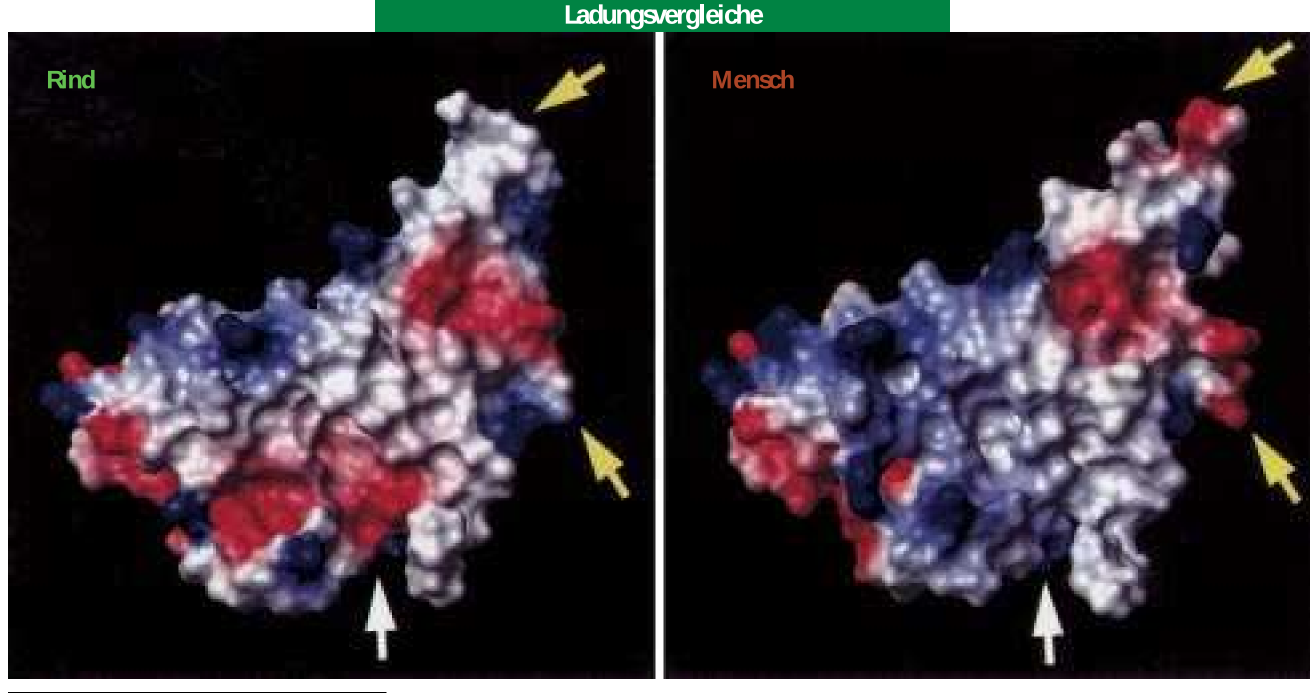






Das Prion-Protein von Rindern (grün) gleicht in seiner Gestalt stärker dem menschlichen (rot) als dem von Mäusen (gelb) oder Hamstern (violett). Gezeigt sind die Moleküle ohne ihren Schwanz. Eine größere Ähnlichkeit könnte die Übertragung von BSE auf den Menschen begünstigen.

Ladungsvergleiche



negative Ladung
positive Ladung
Ladungsneutralität

In der elektrostatischen Oberflächenladung unterscheiden sich die Prion-Proteine von Rind und Mensch. Die gelben Pfeile weisen auf Bereiche, in dem das menschliche Prion-Protein, anders als das des Rindes, eine negative Ladung trägt. Die umgekehrte Situation zeigt sich oberhalb des weißen Pfeils. Diese Unterschiede könnten eine Übertragung von BSE auf den Menschen erschweren.

bationszeit. Der Grund: Virus-Varianten beispielsweise, die dem fremden Wirt zufällig besser angepasst sind, setzen sich allmählich durch. Auch bei Prionen verkürzt sich die Inkubationszeit nach mehrmaliger Passage. Dies wiederum könnte darin begründet sein, dass der Anteil an körpereigenem Prion-Protein in den sich vermehrenden Prionen bei jedem Schritt steigt.

In unserem Labor sind wir der Frage nachgegangen, ob möglicherweise lokale Unterschiede in der räumlichen Struktur von gesunden Prion-Proteinen zu einer Artenbarriere beitragen. Dazu verglichen wir auf dem Bildschirm die bisher bekannten Strukturen des Moleküls von Maus, Hamster, Rind und Mensch miteinander (siehe Abbildung Seite 67). Wir ließen den Computer das Rückgrat des schwanzlosen Proteinkörpers als Schlauch darstellen, der umso dicker wurde, je schlechter die Koordinaten der Aminosäure-Kette an der jeweiligen Stelle definiert waren. Dadurch konnten wir auf Anhieb sehen, wie präzise die ermittelte Struktur war. Wie unser Vergleich dann ergab, bestehen zwischen dem normalen Prion-Protein von Maus oder Hamster und dem vom Rind sehr wohl lokale räumliche Unterschiede. Damit ließe sich auf molekularer Ebene erklären, warum BSE experimentell auf Mäuse und Hamster übertragen werden kann, aber eben doch eine moderate Artenschranke besteht. Die Proteine von Rind und Mensch hingegen erwiesen sich in der Form ihres Rückgrats als nahezu identisch (oberes Teilbild Seite 67). Hieße das etwa, es besteht keine Artenbarriere für die Übertragung von BSE auf den Menschen? Eine erschreckende Vorstellung.

Wie gefährlich wird uns BSE wirklich?

Nun besteht ein Protein nicht bloß aus „Knochen“, sondern auch aus „Fleisch“: den so genannten Aminosäure-Resten. Das echte Molekül ist also deutlich fülliger. Wir haben deshalb am Computer auch die Oberflächen der normalen Prion-Proteine von Mensch und Rind dargestellt und zusätzlich darauf die Art der elektrostatischen Oberflächenladung durch unterschiedliche Farben hervorgehoben (siehe Abbildung oben). Innerhalb des Proteinkörpers unterscheiden sich die beiden Moleküle etwas in der Abfolge ihrer Aminosäuren, und zwar an acht Stellen. Im gesamten Protein gibt es 21 Unterschiede, Einschübe und Auslassungen eingerechnet. Wie unsere Darstellung zeigt, trägt das reguläre Rinder-Prion-Protein an einer Stelle eine negative Ladung, die bei der menschlichen Version nicht vorkommt. Umgekehrt besitzt das menschliche Molekül einige negative Ladungen, die dem Rinder-Protein fehlen. Sofern eine Artenschranke besteht, welche die Übertragung von BSE auf den Menschen erschwert, wäre sie somit – zumindest teilweise – bei diesen unterschiedlichen Oberflächenladungen zu suchen.

Viele Fragen im Zusammenhang mit Prionen-Krankheiten sind noch offen. Deshalb lässt sich die bohrende Frage, wie gefährlich nun BSE für den Menschen ist, nur schwer beantworten. Entsprechend weit gehen die statistischen Abschätzungen über das zu erwartende Ausmaß der vCJK-Epidemie auseinander: Im günstigsten Fall würden am Ende nur wenige hundert Personen betroffen sein, im schlimmsten Fall hätten sich bereits hunderttausend Menschen oder mehr mit BSE angesteckt. Nicht jeder scheint anfällig zu sein: Bislang trat die neue Variante der CJK nur bei Menschen mit einer genetischen Konstellation auf, die bei etwa 35 Prozent der Europäer vorkommt.

In Großbritannien sind wahrscheinlich bereits mehr als 750 000 infizierte Rinder in die Nahrungskette gelangt. Nicht alle Körpergewebe und Organe sind allerdings gleich stark belastet. Gehirn, Rückenmark und Augen enthalten, wenn die Tiere schließlich erkrankt sind, sehr hohe Mengen an Prionen: etwa eine Milliarde je Gramm Gewebe. Als hoch belastet gelten Knochenmark, Lymphknoten und Mandeln, Teile von Dünn- und Dickdarm sowie Milz und Nebennieren: etwa eine Million Prionen pro

Gramm. Nicht nachgewiesen werden konnten BSE-Erreger dagegen in Milch und Muskelfleisch. Jedoch besteht immer die Gefahr, dass beim Schlachten und Verarbeiten der Tiere über verunreinigte Messer und Sägen auch Prionen auf eigentlich unbedenkliche Rinderteile übertragen werden. Selbst wer ganz auf Fleisch verzichtet, darf sich nicht in völliger Sicherheit wähnen, da Rinderprodukte auch außerhalb der Nahrungsmittelindustrie Anwendung finden. Immerhin enthalten 70 Prozent aller Arzneimittel Rindermaterial, insbesondere Gelatine. Deren Verwendung gilt jedoch aufgrund der Herstellungs- und Überwachungsverfahren als unbedenklich.

Die gegenwärtig am getöteten Tier genutzten BSE-Schnelltests bieten allerdings keine ausreichende Sicherheit, da diese den Erreger erst erfassen können, wenn er in hohen Konzentrationen im Gehirn vorliegt. Zukünftige Nachweisverfahren, am lebenden Tier, müssten um ein Vielfaches sensitiver sein. Wie empfindlich ein nützlicher Test sein müsste, hängt davon ab, wie viele BSE-Erreger nötig sind, um einen Menschen zu infizieren. Dies ist aber noch nicht bekannt. Ein Rind kann immerhin schon nach weniger als einem Gramm gefressenem Hirngewebe erkranken.

Was können wir also tun, um der BSE-Krise ein Ende zu bereiten? Die beste Strategie ist sicher, den Erreger zu untersuchen und seine innere Struktur zu entschlüsseln. Auf dieser Grundlage lassen sich effizienter diagnostische Verfahren sowie sicherlich auch wirksame Medikamente gegen die Creutzfeldt-Jakob-Krankheit entwickeln. ■

Literaturhinweise

Prions: pathogenesis and reverse genetics. Von Adriano Aguzzi et al. in: Annual Reviews of the New York Academy of Sciences, Bd. 920, S. 140, Dezember 2000.

Function of PrP^C as a copper-binding protein at the synapse. Von Hans A. Kretzschmar et al. in: Archives of Virology, Suppl. 16, S. 239, 2000.

Prion propagation and molecular chaperones. Von Ralph Zahn in: Quarterly Reviews of Biophysics, Bd. 32, S. 309, 1999.

Prions. Von Stanley B. Prusiner in: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Bd. 95, S. 13363, 1998.

Weblinks zum Thema finden Sie bei ***www.spektrum.de*** *unter „Aktuelles Heft“.*

Die Wahrheit in der Wissenschaft

Gewinnen Naturforscher durch objektive Erkenntnisse ein immer vollständigeres Bild der Wirklichkeit – oder ist der Wahrheitsanspruch der Naturwissenschaft nur eine historisch wandelbare Übereinkunft? Mit Spektrum diskutierten der Astrophysiker Jürgen Ehlers und der Sozialwissenschaftler Rudolf Stichweh.

Spektrum: *Herr Professor Ehlers – wie gültig ist Newtons Gravitationsgesetz?*

Prof. Dr. Jürgen Ehlers: Newtons Gesetz ist eine Aussage nicht nur über unser Planetensystem, sondern auch über andere Doppel- und Mehrfachsysteme von Körpern, die in einem bestimmten Größen- und Genauigkeitsbereich als eine richtige Aussage über die Natur aufzufassen ist. Sie ist zwar in Feinheiten korrigiert und ergänzt worden durch die Allgemeine Relativitätstheorie, doch das hat überhaupt nichts daran geändert, dass diese Erkenntnis ein für alle Mal dasteht. Sie gilt unabhängig davon, in welchem Kulturkreis sie zu Stande gekommen ist und von welchen speziellen Menschen sie erfunden wurde.

Spektrum: *Herr Professor Stichweh – „ein für alle Mal": Wie reagieren Sie auf so etwas?*

Prof. Dr. Rudolf Stichweh: Die Frage ist, wovon wir sprechen. Sprechen wir vom Text der „*Principia mathematica*" und von dem, was wir da lesen – was ja kaum jemand getan hat; das Buch war schon bei Erscheinen „unlesbar", weil die archaische mathematische Darstellungsform für die meisten Zeitgenossen nicht mehr nachvollziehbar war. Was meinen wir, wenn wir sagen, das ist gültig für alle Zeit? Reden wir über den Text eines Buches, so wie es 1687 erschienen ist, oder reden wir über das, was ein Physiker heute sagt, der eine Selektion vornimmt und gewisse Dinge nach wie vor für gültig hält?

Das ist der Unterschied, der praktizierende Naturwissenschaftler und Historiker voneinander trennt. Naturwissenschaftler nehmen rationale Rekonstruktionen vor, und denen sprechen sie Überzeitlichkeit zu. Der Wissenschaftshistoriker liest zeitgenössische Texte und findet in den Originalquellen auf einmal nicht mehr die geordnete Abfolge wachsender Einsicht, die Sicherheit des Fortschreitens, sondern unverständliche Begriffe, eigentümliche Illustrationen, absurde Theorien.

Ehlers: Wir reden über das Feststellen von Sachverhalten: Newton versucht Beobachtungen darüber, wie bestimmte Punkte am Himmel ihre Stellung verändern, mit einem theoretischen Bild zu beschreiben. Ich kann zumindest die Bücher, in denen Newton die Gesetze der Himmelsmechanik formuliert, so lesen, dass ich keinen grundsätzlichen Unterschied sehe zu der Art, wie wir diesen Teil der Physik heute in Vorlesungen darstellen. Dass Newton als Beweistechnik die Geometrie Euklids benutzt hat und die Theorie der Kegelschnitte von Appolonius, ist mehr eine Äußerlichkeit.

Natürlich ist es für uns heute einfacher, wenn man den Kalkül der Differenzialrechnung verwendet, aber das ist eigentlich nur eine Übersetzung – so wie es mir mehr Mühe macht, einen französischen Text über Quantenmechanik zu lesen als einen deutschen. Der sachliche Inhalt, sogar die Erfahrungsdaten, auf die Newton sich bezieht, sind erstaunlich gültig geblieben. Dieser Wirklichkeitsbezug ist mir mindestens so wichtig wie der Bezug auf den Text.

Stichweh: Wir reden eigentlich nie über Wirklichkeit, sondern über bestimmte Sätze, die Wissenschaftler über Wirklichkeit produzieren. Die Wirklichkeit bleibt immer draußen.

Wir beobachten einen Argumentations- und Kommunikationsprozess unter Wissenschaftlern, denen es auf bestimmte Weise gelingt, Überzeugungen zu produzieren, und auf andere Weise nicht. Eigentlich sprechen wir nur über Kom-

FOTOS: ULLRICH WINKLER, SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT

Jürgen Ehlers (Mitte links) und Rudolf Stichweh (Mitte rechts) mit Reinhard Breuer und Michael Springer von Spektrum der Wissenschaft.

munikation, die andere Kommunikation zu beeinflussen versucht. Diese Indirektheit nimmt in der Geschichte der Wissenschaft sogar zu: Die Wirklichkeit bleibt immer weiter draußen.

Spektrum: *Entschwindet die Wirklichkeit aus der Wissenschaft?*

Ehlers: Was ich in Herrn Stichwehs Beschreibung vermisse, ist, dass sie nicht auf Experimente und Beobachtungen Bezug nimmt. Bei der Erforschung eines wissenschaftlichen Gegenstandsbereichs wird man gewisse theoretische Ansätze erst dann akzeptieren, wenn die aus der Theorie resultierenden Vorhersagen über Experimente sich innerhalb vernünftiger Fehlergrenzen als mit der Theorie verträglich erweisen.

Dieser Bezug auf das, was nicht vom Menschen gemacht ist, sondern von außen kommt, ist mindestens so wichtig wie die innertheoretische Diskussion.

Stichweh: Ich würde gar keinen Unterschied machen zwischen Kommunikation, die sich auf Theorien bezieht, und solcher, die von Experimenten handelt. Ich halte etwas Bestimmtes für das Ergebnis meines Experiments – das ist ja nichts, was der Wirklichkeit einfach ablesbar wäre –, und das kann umstritten sein. Wir reden eigentlich immer nur mit anderen Wissenschaftlern, die wir von unserer Deutung des Experiments überzeugen müssen, und nie tritt die Wirklichkeit in diese Kommunikation ein, sondern die ist immer „da draußen“. Es kann immer jemand daherkommen und sagen: Das ist ein einmaliger Effekt, das scheint mir eine unzuverlässige Technik et cetera. Nie kommt die Wirklichkeit dazwischen und entscheidet die Sache für uns.

Ehlers: Solange es nur um die Beschreibung dessen geht, was Menschen unmittelbar tun, stimme ich Ihnen völlig zu. Aber nehmen wir das Beispiel des Planetensystems: Von Eudoxus über Aristoteles, Ptolemäus, Kepler, Kopernikus, Newton bis zu Einstein finde ich es eine sinnvolle Beschreibung all dieser menschlichen Aktivitäten – wozu Beobachtung und Theoriebildung gehören –, zu sagen: Da hat man über einen Naturgegenstand immer Genaueres gelernt.

Warum darf man das nicht aussprechen? Das ist der Punkt, der mich aufregt. Wenn man den Wirklichkeitsbegriff als unerlaubt hinstellt, dürfte ein Historiker, der anhand von Dokumenten die Umstände von Cäsars Ermordung erforscht, nicht sagen: Ich stelle etwas fest über einen historischen Sachverhalt, der sich tatsächlich abgespielt hat – sondern er konstruiert sich nur in seinem Geist ein Bild.



Jürgen Ehlers (links) lehrt und forscht am Albert-Einstein-Institut (Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik) in Potsdam. Rudolf Stichweh ist Nachfolger von Niklas Luhmann an der Fakultät für Soziologie der Universität Bielefeld.

Aber jeder vernünftige Mensch würde doch meinen: Auch schon vor etlichen Generationen hat es meine Vorfahren gegeben. Warum erlauben wir uns da über Wirklichkeit zu reden, aber im Kontext der Naturwissenschaften, wo auch etwas konstruiert wird auf Grund von uns direkt zugänglichen Dokumenten – das sind die Experimente –, da wollen wir uns das plötzlich nicht mehr erlauben?

Stichweh: Die Geschichtswissenschaften haben alles in allem akzeptiert, dass der Historiker Geschichten erzählt, die man auch anders erzählen kann. Von der Ermordung Cäsars kann es völlig verschiedenartige Versionen geben, die in gewissem Sinne gleichermaßen „wahr“ und überzeugend sind. Die Geschichte, die der Historiker erzählt, ist ein bisschen auch eine künstlerische Konstruktion.

EHLERS: „Warum wird das Zuschreiben von Wirklichkeit plötzlich als problematisch hingestellt?“

Ehlers: Ein bisschen, aber nicht nur!

Stichweh: Die wissenschaftliche Tradition setzt sich unablässig unter den Druck, Wirklichkeit erreichen zu wollen. Ich behandle das als eine Prämisse, als einen selbstgestellten Anspruch, aber nicht als etwas, das an irgendeinem Punkte tatsächlich einträte.

Diese Prämisse ist in gewissen Disziplinen wie der Physik besonders stark. Mathematiker akzeptieren viel selbstverständlicher, dass sie konstruieren, dass sie erfinden; sie setzen viel mehr auf Kreativität.

Spektrum: *Wenn in einer physikalischen Theorie eine Größe willkürlich verändert wird, dann hat das Folgen: Die Theorie stimmt nicht mehr, eine danach konstruierte Brücke stürzt ein.*

Stichweh: Ingenieure können auf Grund ihres Erfahrungswissens durchaus stabile Brücken konstruieren, obwohl die zu Grunde liegende Theorie falsch ist. Ich würde die Kopplung von Wissenschaft und Technik nicht so eng sehen. Man kann oft etwas konstruieren auf der Basis einer falschen Theorie, und solange die Brücke hält – oder solange eine medizinische Therapie funktioniert, obwohl sie falsch erklärt wird –, ist da kein Problem.

Spektrum: *Wir kommen um eine Begriffsklärung nicht herum. Was ist Wirklichkeit?*

Ehlers: Letztlich muss die Physik ihre Aussagen immer auf einfache und direkt wahrnehmbare Sachverhalte rückbeziehen können. Insofern kann man auch dem Wirklichkeitsbegriff nur einen Sinn geben in Bezug auf Wahrnehmungen – wobei wir mit Instrumenten auch etwas lernen können über Dinge, die unseren Sinnen nicht direkt zugänglich sind.

Wenn ich Amöben im Mikroskop sehe oder die Oberfläche eines Planeten im Teleskop, dann kommt es mir einfach vernünftig vor, zu sagen: Da sehe ich mir einen wirklichen Gegenstand an, da mache ich nicht etwas, was nur meiner Fantasie entsprungen ist. Im normalen Leben sagen wir doch auch: Ich bin überzeugt, mein Haus steht als wirklicher Gegenstand da, obwohl ich es im Augenblick nicht sehen kann. Warum wird das Zuschreiben von Wirklichkeit, das im täglichen Leben zumindest außerordent- ▶



STICHWEH: „Ich glaube nicht, dass ‚Fortschritt' eine gute Beschreibung für die Entwicklung der Wissenschaften ist. Ich würde eine evolutionäre Beschreibung vorziehen."

lich zweckmäßig ist, plötzlich als problematisch hingestellt?

Auch wenn zwei Historiker über Cäsars Ermordung streiten, so meinen doch beide: Auf eine Weise hat sich der Mord abgespielt, wir wissen nur nicht genau, wie. Und wir Physiker wollen wissen, wie sind die Planeten beschaffen, wie strahlen die Sterne ihre Energie aus – wir reden über Gegenstände der Natur. Das erscheint mir vernünftiger, als zu sagen: Wir reden über Kommunikationsweisen zwischen bestimmten Menschen.

Stichweh: Die Vorstellung davon, was Wirklichkeit ist und wie sie erreicht werden kann, hat sich historisch sehr verschoben. Es gibt im 18. Jahrhundert eine große Diskussion über die Unterscheidung zwischen Natur und Kunst, die etwas mit der Durchsetzung des Experiments zu tun hat.

Eine Tradition, die bis zu Goethe reicht, besagt: Das Experiment tut der Natur Gewalt an, und die Natur wird unter diesen Umständen nie wirklich etwas über sich aussagen, sondern immer nur Artefakte produzieren. Irgendwann akzeptieren Physiker und Chemiker dann, dass durch einen Experimentalapparat eine Annäherung an die Wirklichkeit vorstellbar ist.

Auch in der Geschichte der Elementarteilchenphysik des 20. Jahrhunderts ist eine scharfe Trennung zu beobachten zwischen Experimentaltraditionen, die auf visuelle Instrumente setzen und mit Fotografien von Einzelereignissen arbeiten, und anderen, die auf elektronische Instrumente setzen und statistische Vielheiten von Ereignissen registrieren. Solche Traditionen laufen über Jahrzehnte hinweg getrennt und bestreiten sich gegenseitig den Wirklichkeitsaspekt: Die Elektroniker sagen, ihr habt nur ein einzelnes Foto, das besagt überhaupt nichts, während die Optiker auf die Evidenz des einmaligen Eindrucks eines Partikels setzen. So bleibt die Frage, was wirklich ist, lange Zeit strittig unter den beteiligten Physikern.

Ehlers: Ich glaube, man kann über Wirklichkeitserkenntnis in der Physik nicht reden, ohne sich darüber zu einigen, was Theorien sind und wie sie auf Experimente bezogen sind – und das ändert sich im Laufe der Zeit etwa so, wie Sie das beschrieben haben. Einerseits werden die Erkenntnisse in der Physik intern beurteilt – das heißt, man verlangt, dass eine Theorie ein logisch geordnetes und mathematisch ausformuliertes Satzsystem ergibt. Andererseits hat man Experimente, wobei man natürlich auch Regeln braucht. Außerdem muss man Theorie und Experiment aufeinander beziehen. Wenn dann in der Theorie gezogene Folgerungen auf Grund dieser Zuordnungsregeln mit den Experimenten übereinstimmen, sagen wir Physiker, wir haben etwas von der Wirklichkeit verstanden.

Sie haben eben darauf hingewiesen, dass die experimentellen Sachverhalte, die man jeweils für richtig ansieht, sich im Laufe der Zeit verschieben. Ich behaupte aber, dass man eine Theorie nur dann als eine Verbesserung der früheren ansehen wird, wenn nicht nur die Experimente, die man neuerdings dafür ins Feld führt, mit der Theorie übereinstimmen, sondern auch – bei angemessener Beurteilung – die früheren Experimente.

Spektrum: *Herr Stichweh, würden Sie sagen: Da findet Fortschritt statt? Oder wird da nur eine Geschichte durch eine andere abgelöst?*

Stichweh: Ich glaube nicht, dass „Fortschritt" eine gute Beschreibung für die Entwicklung der Wissenschaften ist. Ich würde eine evolutionäre Beschreibung vorziehen. Wenn man das Evolutionsdenken auf die Wissenschaftsentwicklung anwendet, wird die Darwinsche Unterscheidung von Variation und Selektion wichtig. Wissenschaftler behaupten, dass sie auf etwas Neues gestoßen sind, das einen Unterschied macht zu dem, was bisher geglaubt und beobachtet worden ist.

Und dann gelingt es – das ist die Selektionsseite des wissenschaftlichen Kommunikationsprozesses –, für diese behaupteten Neuheiten Überzeugungskraft zu mobilisieren und sie durchzusetzen oder auch nicht. Interessant ist es, ähnlich wie in der Evolutionsbiologie, Selektionsumwelten zu studieren, in denen sich wissenschaftliche Variationen entweder behaupten oder wieder eliminiert werden. Dann braucht man den Fortschrittsbegriff nicht mehr.

Spektrum: *Herr Ehlers, gibt es Fortschritt in der Wissenschaft?*

Ehlers: Nehmen wir ein Stück Metall. Seine Eigenschaften hat man im Laufe der Geschichte immer genauer verstanden. Zunächst beschrieb man es wohl nur ganz grob – mit den Mitteln der Geometrie – als ein Ding, das eine bestimmte Form hat. Dann fand man, es hat ein bestimmtes Gewicht, da kam ein neuer Begriff wie Masse hinzu.

Dann lernte man, die Verformung zu beschreiben, und sagte, es hat auch elastische Eigenschaften. Dann entdeckte man optische, elektrische Aspekte. Zunächst hat man das grob so dargestellt, wie es unseren Sinnen zugänglich ist oder mit einfachen Geräten erforscht werden kann. Später bildete man sich Vorstellungen über die atomare Feinstruktur und kam auf neuartige Experimente – zum Beispiel, wie verhalten sich die spezifische Wärme und die Leitfähigkeit bei sehr niedrigen Temperaturen.

Bei diesem Vorgang erfahren wir etwas über ein und dasselbe wirkliche Gebilde, nämlich über einen Metallklotz. Mir leuchtet nicht ein, dass es einem verboten sein soll, zu sagen: Da lernen wir über ein wirkliches Ding im Laufe der Zeit immer mehr!

Spektrum: *Herr Stichweh, es kommt doch bei einer Theorie darauf an, dass sie stimmt. Das ist ihre Art von Fitness.*

Die Online-Debatte ist eröffnet: Was ist Wahrheit in der Wissenschaft? Äußern Sie sich unter **www.wissenschaft-online.de/spektrum/** zu den Thesen von Prof. Ehlers und Prof. Stichweh!

Stichweh: In den 150 Jahren seit Darwin tritt in den Evolutionstheorien immer stärker an die Stelle der Selektion eines Organismus durch die Umwelt ein anderer Aspekt: interne Selektionsmechanismen, die gewissermaßen als interne Repräsentanten der Umwelt lange greifen, bevor die Konfrontation mit der Umwelt geschieht.

Und so ähnlich stelle ich mir auch Wissenschaft vor: als etwas, das immer stärker interne Auswahlmechanismen an die Stelle der Direktbewährung in der Umwelt – die ja sowieso unerreichbar ist – setzt. Und diese internen Mechanismen sind eben alle diese Erfindungen, welche die Naturwissenschaft in ihrer Geschichte macht.

Ehlers: Würden Sie sagen, diese Eigenschaften hat ein Eisenklotz erst, weil Menschen sich diese Begriffe überlegt haben? Oder würden Sie es nicht doch sinnvoll finden, zu sagen: Das Eisen hatte immer diese Eigenschaften, nur wir Menschen haben im Laufe der Zeit immer mehr darüber erfahren? Im normalen Leben sagen wir auch nicht: „Es kommt mir so vor, als stünde da ein Stuhl“, sondern: „Da steht ein Stuhl“.

Stichweh: Unbestritten. Doch wenn man Wissenschaftler von außen beobachtet, dann fällt einem sofort auf, dass zu allem, was ein Wissenschaftler sagt, ein anderer etwas Anderes sagen kann. Solange etwas Wissenschaft ist, ist es auch umstritten.

Ehlers: Es gibt Bereiche wie die Mechanik oder die Quantenmechanik der Atome und Moleküle, daran ändert sich nichts mehr. Für einen gewissen Größen- und Energiebereich ist die Quantenmechanik ein für alle Mal richtig – ähnlich die Newtonsche Mechanik für Sterne und Planeten. Das sind sozusagen die Fertigprodukte, die aus der Wissenschaft herauskommen: zuverlässige Einsichten, die man sich nicht nur ausdenkt. Wie wäre die Landung auf dem Mond gelungen, wenn die Newtonschen Gesetze nicht etwas Wirkliches über die Natur enthielten?

Spektrum: *Stichwort Objektivität. Wenn Wissenschaftler eine Theorie als abgeschlossen betrachten, dann sagen sie: Sie ist objektiv, unabhängig von ihren Herstellern oder Erfindern. Ist dieser Objektivitätsbegriff nur ein Konstrukt einer innerwissenschaftlichen Diskussion? Ist er nur eine ethische Norm?*

Ist Objektivität nur ein Konstrukt?

Stichweh: Objektivität ist ein professioneller Standard in bestimmten Communities. Gemeint ist primär, dass etwa in der biomedizinischen Forschung nicht die Betroffenheit durch Erfahrungen am eigenen Körper dominieren soll, sondern ein distanziertes, eben „objektives“ Herangehen. Gibt es wirklich Dinge, wie Herr Ehlers meint, von denen wir wissen, dass sie immer wahr sein werden? Woher wissen Sie das?

Vielleicht gibt es morgen eine Theorie, die das, was wir heute für gesichertes Wissen über den Metallkörper halten, in ein ganz anderes Licht rückt, vielleicht sogar widerlegt. Manche Wissensbestandteile können über Jahrhunderte stabil sein, und dann passiert auf einmal doch etwas, was sie erschüttert.

Spektrum: *Also gibt es keine „ewigen Wahrheiten“?*

Ehlers: Keine ewigen Wahrheiten, wenn man damit Aussagen meint, die in keiner Weise mehr verbesserbar sind. Aber am sachlichen Gehalt von Newtons Gravitationsgesetz oder Galileis Fallgesetz hat sich innerhalb gewisser Genauigkeitsgrenzen nie etwas geändert.

Spektrum: *Würden Sie, Herr Stichweh, trotzdem sagen, es sei nur Spekulation, dass das Fallgesetz für alle Zeit gelten wird?*

Stichweh: Ich finde es psychologisch plausibel, dass Wissenschaftler annehmen, etwas, das relativ lange unbestritten blieb, werde auch künftig so bleiben. Aber da gerade Überraschungen Wissenschaft interessant machen, wäre ich da nicht so sicher.

Denken Sie an den bis heute unverarbeiteten Schock, den Darwin in der Jahrhunderte und Jahrtausende alten Tradition des Nachdenkens über Natur, Biologie, Organismen und deren Geschichte ausgelöst hat. Ist nicht der physikalische Mechanismus der Gravitation noch immer ungeklärt? Ob es da nicht Überraschungen geben könnte?

Ehlers: Dass man die Allgemeine Relativitätstheorie später in einer verbesserten Theorie nur als Näherung betrachten wird, davon bin ich fest überzeugt. Aber eine neue Theorie wird doch nur akzeptiert, wenn sie die empirischen Erfolge der alten reproduziert. Eine neue Theorie setzt sich nicht nur deshalb durch, weil die Vertreter der alten aussterben.

In dem Zwischenstadium, wo man noch herumprobiert und noch nicht weiß, wie man die Theorie verbessern soll, spielen natürlich persönliche Überzeugungen und Wünsche eine erhebliche Rolle. Aber die Entscheidung fällt auf Grund von Argumenten, denen schließlich beide zustimmen: die Vertreter der älteren und die der jüngeren Generation.

Stichweh: Ob das immer so ist? Ich kenne keinen einzigen Gegner Darwins, der je überzeugt worden wäre. Die sind tatsächlich ausgestorben, irgendwann im Laufe des 19. Jahrhunderts.

Spektrum: *Herr Stichweh, was ist für Sie Wahrheit in der Naturwissenschaft?*

Stichweh: Das ist eine normative Leitvorstellung – ein Ziel, das die Wissenschaft in ihren Kommunikationsprozessen anstrebt. Wahrheit wissenschaftlicher Aussagen heißt, dass man im Prinzip jeden zur Zustimmung zwingen könnte, wenn man nur lange genug mit ihm darüber argumentieren würde. Aber diese Leitvorstellung unter- ▶

EHLERS: „Eine neue Theorie setzt sich nicht nur deshalb durch, weil die Vertreter der alten aussterben.“





liegt enormem Wandel. Im 19. Jahrhundert beginnen die Wissenschaftler zu sagen: Mit absoluter Wahrheit wollen wir nichts zu tun haben; das würde uns in Konkurrenz zur Religion bringen; wir haben es allenfalls mit relativen Wahrheiten zu tun, mit vorläufigen Urteilen.

Im 20. Jahrhundert konstatieren die Wissenschaftssoziologen, dass unter praktizierenden Naturwissenschaftlern Attribute wie „Wahrheit" eigentlich nicht mehr vorkommen, sondern dass sie eher eine ironische, zynische, manipulative Sprache bevorzugen, etwa: „Okay, ich werde das schon irgendwie so hindrehen, dass es stimmt". Ich würde nicht so weit gehen wie manche Soziologen, die meinen, damit sei Wahrheit aus der Wissenschaft ganz verschwunden. Wahrheit bleibt eine Letztbeschreibung für das, was man in der Wissenschaft anstrebt, hat aber in ihrer Alltagswirklichkeit vom 18. Jahrhundert bis heute zunehmend an Bedeutung verloren.

Spektrum: *Produziert Naturwissenschaft relative Wahrheiten, die dem historischen Wandel unterliegen, oder haben diese einen Absolutheitscharakter, der sie von anderen kulturellen Aktivitäten unterscheidet?*

Ehlers: Naturwissenschaftliche Sätze haben nicht den Charakter absoluter Wahrheiten. Physiker arbeiten approximative Richtigkeiten heraus; allerdings ist diese Approximation manchmal so zuverlässig, dass man meint, damit habe man etwas Wichtiges erkannt – ob man dies nun „wahr" nennen will oder „brauchbar", ist mehr eine Frage der Terminologie. Doch gegenüber einer kritischen Öffentlichkeit ist es wichtig, zu betonen, dass dieser Grad an Zuverlässigkeit jedenfalls sehr viel personenunabhängiger ist als in irgendeinem anderen Bereich menschlicher Tätigkeit.

Spektrum: *Zuverlässigkeit, Brauchbarkeit, Nützlichkeit – sind das Kategorien, auf die wir uns einigen könnten?*

Stichweh: Das mit der Zuverlässigkeit ist so eine Sache. Moderne Wissenschaft am Ende des 20. Jahrhunderts hat ein sehr klares Bewusstsein von der Ungewissheit, dem approximativen Charakter allen Wissens. Allerdings: Wenn Sie beispielsweise Klimamodelle machen, wo Ihnen massive gesellschaftliche Erwartungen gegenüberstehen – Sie sollen Empfehlungen aussprechen, der Politik Handlungsimperative auferlegen –, dann teilen Sie die Ungewissheit nach außen nicht mit, sondern versuchen, relativ eindeutige Botschaften zu liefern.

STICHWEH: „Wir wissen nicht, mit welchen Einsichten uns Wissenschaft morgen konfrontieren wird."

Nach innen würde ich die Wissenschaft nicht durch Zuverlässigkeit beschreiben, sondern als ein Unterfangen, das ein immer klarer artikuliertes Bewusstsein von der Vorläufigkeit der möglichen Aussagen hat.

Spektrum: *Würden Sie der Wissenschaft unter den gesellschaftlichen Aktivitäten überhaupt einen Sonderstatus einräumen?*

Stichweh: Wenn ich Wissenschaft von außen betrachte und mit Kunst oder Religion vergleiche, dann unterscheidet sie sich dadurch, dass sie für ihre Aussagen Wahrheit beansprucht – das heißt, ihren Aussagen soll im Prinzip jeder zustimmen können. Aber das ist eine Fremdbeschreibung, und dieser Wahrheitsbegriff ist relativ abstrakt.

Auf der internen Ebene der Selbstbeschreibung tritt „Wahrheit" vielfach zurück – so wie Künstler heute nicht mehr sagen, dass ihre Bilder „schön" sind. Wir beobachten in vielen gesellschaftlichen Bereichen diese Distanz gegenüber letzten Idealen.

Spektrum: *Ringt der Wissenschaftler intern ironisch-zynisch mit seiner Unsicherheit, vermittelt aber nach außen mehr Sicherheit, als er intern selbst vertreten würde?*

Ehlers: Natürlich stellen Wissenschaftler nach außen eher die Dinge heraus, von denen sie meinen, die seien verstanden – denn wenn sie das Andere herausstellten, dann würde ihnen die Öffentlichkeit nicht die nötigen Mittel gewähren; das ist ein praktischer Gesichtspunkt.

Dennoch kommen in der Wissenschaft Produkte zu Stande – Heisenberg hat das „abgeschlossene Theorien" genannt –, die in einem gewissen Bereich zuverlässig sind und die man nicht mehr zu ändern braucht. Überraschungen sind nie ausgeschlossen, aber der relative Grad an Sicherheit ist in den Naturwissenschaften größer als anderswo.

Spektrum: *Herr Stichweh, also eine relative Sicherheit, die vor Überraschungen nie gefeit ist?*

Stichweh: Die Überraschungen kommen aus der Wissenschaft selbst: Wir wissen nicht, mit welchen Einsichten uns Wissenschaft morgen konfrontieren wird und welche lange für wahr gehaltenen Einsichten uns danach nicht mehr überzeugen werden.

Niklas Luhmann hat gesagt, Wahrheiten seien Erschöpfungszustände der Wissenschaft. So gesehen sind abgeschlossene Theorien oder fertige Wahrheiten gar nicht das, was die Wissenschaft interessiert. Wissenschaft ist auch Kritik: Jeder, der sie betreibt, muss immer damit rechnen, dass jedes noch so wasserdicht gemachte Argument auf Einwände und Kritik stoßen wird – und gerade darin erweist es sich als wissenschaftlich. Wenn wir über das reden, woran zur Zeit niemand zweifelt, reden wir eigentlich über Dinge, für die sich die Wissenschaft nicht interessiert, weil sie sie nicht in Frage stellen kann. ■

Die Fragen stellten Reinhard Breuer und Michael Springer von Spektrum der Wissenschaft.



Eine gefahrlose Ballonfahrt

Grimoin Sanson hat eine geradezu großartige Erfindung gemacht, die es ängstlichen Gemütern ermöglicht, eine Ballonfahrt in täuschendster Weise mitzumachen. ... Zunächst hat er kinematographische Panorama-Aufnahmen (beim Ballonaufstieg) gemacht ... . Auf einem festen Gestell von 2,5 m Höhe ist eine Kreisscheibe von 1,5 m Durchmesser angebracht, die zehn kinematographische Apparate für photographische Aufnahmen trägt. ... Das Zentralrad, dessen Achse drei Männer vermittelst einer Kurbel langsam drehen, setzt durch Triebübertragungen gleichzeitig die Räderwerke der zehn Apparate in Thätigkeit, so daß diese auf ihren je 60 m langen und 7 cm breiten Filmstreifen kinematographische Aufnahmen machen ... Jeder Apparat nimmt Horizontbogen von etwas über 36 Grad auf. ... Wenn man nun diese Bilder in einem Panorama auf die leere Leinwand projiziert und abermals dabei die Kurbel dreht, so hat man den Rundblick auf ein großartiges lebendes Bild. *(Das Neue Universum, Jg. XXII, 1901, S. 363/364)*



Apparat für das Aufnehmen von kinematographischen Panoramen.

Verdaulichkeit von Butter und Margarine

Versuche der Herren H. Wibbens und H. E. Huizenga an Hunden und an Menschen über die Verdaulichkeit der Butter und einiger Surrogate derselben ergaben übereinstimmend, dass die untersuchten Surrogate, eine in Berlin viel verbrauchte Margarine und die nach Liebreichs Vorschrift durch Emulsion mit Mandelmilch hergestellte „Sana" dieselbe Verdaulichkeit wie echte Butter besitzen. *(Die Umschau, V. Jg., No. 29, Juli 1901, S. 579)*

Die erste Bergschwebebahn der Welt

In Loschwitz bei Dresden ist ein Verkehrsmittel dem Betriebe übergeben worden, das durch seine Eigenart bereits die Aufmerksamkeit weiter Kreise des In- und Auslandes auf sich gezogen hat. ... Mit der zwischen Barmen und Elberfeld erbauten Schwebebahn hat die Bergschwebebahn das von Eugen Langen erfundene Prinzip, die frei pendelnde Aufhängung des Wagens an einer Schiene, gemeinsam. ... Die starke Steigung – die Bahn überwindet auf 250 m Länge eine Höhe von 80 m, mithin eine mittlere Steigung von 32% – machte die Anwendung eines Drahtseils ... unumgänglich. ... Der Antrieb geschieht in der Weise, dass das Seil in der oberen Station um ein System von grossen Seilscheiben geführt ist, die mittelst Zahnrädervorgelege von zwei Lokomobilen angetrieben werden. *(Bayerisches Industrie- und Gewerbeblatt, 87. Jg., No. 30, 1901, S. 243)*



Neues Hormon der Bauchspeicheldrüse

In aufschlußreichen Untersuchungen wurde festgestellt, daß die Bauchspeicheldrüse außer dem Insulin ein weiteres ... Hormon für den Kohlehydrat-Stoffwechsel bildet, das Glucagon. ... Durch spezielle Verfahren läßt sich Glucagon auch vom Insulin direkt trennen, jedoch enthalten die meisten Insulinpräparate noch einen Anteil Glucagon, das wegen seiner blutzuckersteigernden Wirkung auch nach einer Insulin-Injektion für das noch vor Eintreten des eigentlichen Insulineffektes auftretende leichte Ansteigen des Blutzuckerspiegels verantwortlich ist. *(Orion, 6. Jg., Nr.13, 1951, S. 529)*

Bestrahlte Sägespäne als Futtermittel

Bei den Versuchen wurden Sägespäne und dünne Brettchen aus dem Holz des Lindenbaumes mit Röntgenstrahlen behandelt, wodurch die Zellulose im Holz soweit von der Ligninumhüllung befreit wird, daß sie für die Bakterienflora von Wiederkäuern verdaulich wird. ... Da man bisher noch keine genauen Verdauungsversuche mit lebenden Kühen anstellten konnte, bediente man sich einer aus dem Magen der Kühe isolierten Bakterienkultur, die im Reagenzglas mit bestrahlten Sägespänen zusammengebracht und 1-2 Tage bei 37,8 Grad Celsius gehalten wurde. ... Als günstigste Behandlungsdauer erwies sich bei den durchgeführten Versuchen eine Zeitdauer von 12 Minuten. In diesem Fall ergibt sich dieselbe Verdaulichkeit wie bei Heu. *(Die Umschau, 51. Jg., Heft 14, 1951, S. 440)*



E. J. Lawton bringt eine Probe Sägespäne in die Bestrahlungsapparatur.

Magnetspeicher für elektronische Rechner

Die neuen statischen Magnetspeicher verwenden zur Speicherung einer jeden Dualziffer einen Ringkern aus einem in Deutschland entwickelten Eisen mit praktisch rechteckiger Hystereseschleife ... Sättigung in der einen oder anderen Richtung definiert die Speicherung einer Dualziffer 0 oder 1. Der Aufruf eines einzelnen Ziffernspeichers geschieht mit Hilfe eines ebenen rechteckigen Koordinatengitters von isolierten Drähten. ... Um jeden Kreuzungspunkt ist einer dieser Eisenringkerne gelegt. Zum Aufruf eines Speicherringes wird durch Draht x_n und y_m ein Strom geschickt, dessen Stärke so dimensioniert ist, daß er zur Ummagnetisierung eines Ringkernes noch nicht ausreicht. Der an der Kreuzungsstelle $x_n y_m$ befindliche Kern aber wird durch Zusammenwirken beider Ströme ummagnetisiert. *(Die Umschau, 51. Jg., Heft 13, Juli 1951, S. 390)*

JÜRGEN SIECKMEYER

„Eine Schule des Volkes“

DIE PEKINGOPER unter Mao

Offenheit und Wandlungsfähigkeit charakterisierten die chinesische Oper seit ihrer Entstehung im 13. Jahrhundert. Das stellte sie auch in den dunklen Jahren der Kulturrevolution unter Beweis.

Von Barbara Mittler

Seit dem Tode Mao Zedongs und dem Ende der so genannten „Großen Proletarischen Kulturrevolution“ 1976 weht ein neuer Wind in China: Das kommunistische Land öffnet sich, allerdings weniger den Leitbildern westlicher Demokratien als der Weltwirtschaft.

Das Reich der Mitte ist auf dem besten Weg, zum Global Player zu werden, von Konzernen umworben, die auf einen boomenden Markt hoffen. Solche Veränderungen sind vielleicht unabdingbar für diesen Staat, der 1,2 Milliarden Einwohner mit Nahrung, Arbeit und Lebensqualität versorgen muss. Leicht fallen sie ihm aber nicht – das Massaker auf dem Platz des Himmlischen Friedens 1989, das Hunderte von Menschenleben forderte, ist noch deutlich in Erinnerung. Aufmerksam verfolgen westliche Beobachter deshalb die Entwicklung des Riesenreiches.

Nicht wenige dürften dabei irritiert festgestellt haben, dass seit Mitte der 80er Jahre ausgerechnet die Kunst und Kultur einer der dunkelsten Phasen jüngerer chinesischer Geschichte *en vogue* sind – die „Große Proletarische Kulturrevolution“ ist „Kult“ geworden.

Was für westliche Beobachter schwer nachzuvollziehen ist, widerspricht auch der herrschenden Lehrmeinung vieler Historiker: In ihren Augen war die Zeit zwischen 1966 und 1976 eine Phase von Chaos und kultureller Stagnation (siehe Kasten Seite 78). Beispielsweise beherrschten damals achtzehn so genannte Modellstücke, darunter zehn „revolutionäre Pekingopern“, die Theaterbühnen. Diese unter Führung der kommunistischen Partei und vor allem von Maos Frau, Jiang Qing, auf Linie getrimmten Werke werden von Kulturhistorikern gemeinhin als Perversion in der chinesischen Kunst bewertet.

Unverständlich also zunächst, dass gerade die „Modellopern“ heute ein ausverkauftes Haus garantieren, dass deren Verfilmungen aus den frühen 70er Jahren Renner auf dem Videomarkt sind und ihre Arien in die Hitparaden gelangen. Doch im Grunde ist des Rätsels Lösung ganz einfach. Die revolutionären Pekingopern waren lediglich der radikale Höhepunkt einer Reform dieser Kunstgattung und lassen sich als Syntheseprodukt aus hoher Kunst und Populärkultur einerseits und aus chinesischer und ausländischer Kunst andererseits verstehen.

Tatsächlich ist Wandel vielleicht die wichtigste Konstante in der chinesischen Opernkunst, die einst im 13. Jahrhundert unter der Herrschaft der Mongolen in China entstand. Seit ihren Anfängen zeichnet sich die chinesische Oper, die stets vielen Zwecken und Gesellschaftsschichten diente und somit einer Vielzahl unterschiedlichster Einflüsse unterworfen war, durch ihre Fähigkeit aus, diese ▶

Die Gesichtsfarbe verrät viel über den Charakter der dargestellten Person. So symbolisiert „Weiß“ in der traditionellen Oper ein listiges Wesen.



DIE KULTURREVOLUTION

China im Ausnahmezustand

Mit dem Terminus „Große Proletarische Kulturrevolution“ wird heute offiziell die Dekade zwischen 1966 und Maos Tod 1976 bezeichnet. In dieser Zeit herrschten staatliche Gewalt und Terror, den Verhältnissen im NS-Staat oder in der Sowjetunion unter Stalin vergleichbar. Das erklärte Ziel Mao Zedongs und seiner nach Ende der Kulturrevolution als „Viererbande“ bezeichneten Vertrauten (Jiang Qing, Wang Hongwen, Zhang Chunqiao und Yao Wenyuan) war es, endgültig „ungesundes“ Gedankengut zu beseitigen: Damit umschrieben sie insbesondere vom Konfuzianismus geprägte, dem kapitalistischen Westen entstammende und als revisionistisch bezeichnete sowjetische Ideen.

Vor allem in den ersten beiden Jahren der Kulturrevolution bildeten Schüler und Studenten die „Roten Garden“ und verwüsteten Tempel, Grabstätten und Privathäuser. Jede falsche Bemerkung, selbst die eines Kindes, wurde geahndet. So genannte „Kampfsitzungen“ und in ihrer Folge Folter und Mord waren an der Tagesordnung, viele Menschen suchten dem Schrecken durch Selbstmord zu entgehen.

Besonders die Intellektuellen traf die Kulturrevolution hart, denn politische Gesinnung galt mehr als „Expertentum“, Letzteres war sogar verdächtig. Teil der aus solchen Vorstellungen entstehenden politischen Maßnahmen war die Landverschickung von Jugendlichen aus der Stadt in möglichst unwegsame Gebiete. Sie wurden dort als Barfußdoktoren oder als billige Arbeitskräfte bei Land- und Fabrikarbeit eingesetzt.

Erst nach dem Tode Mao Zedongs gelang es, die radikalen Kräfte auszuschalten. Weil es unmöglich war, sämtliche Schuldigen zur Rechenschaft zu ziehen, wurde die „Viererbande“ für die Gräuel der Kulturrevolution verantwortlich gemacht und öffentlich verurteilt. Die Aufarbeitung dieser traumatischen Vergangenheit ist bis auf den heutigen Tag nicht abgeschlossen.



SAMMLUNG WESTMINSTER UNIVERSITY, LONDON

Maos Frau Jiang Qing auf einem Plakat von 1967: Sie trägt die Uniform der Volksbefreiungsarmee, da ihre Bemühungen zur Neuausrichtung von Kunst und Kultur auch vom damaligen Verteidigungsminister Lin Biao stark unterstützt wurden; hinter ihr dargestellt Militärensemble und -chor sowie einige der Haupthelden aus Jiang Quings Modellstücken.

zu integrieren und zu assimilieren. Aristokraten ließen sich von den Schaustücken unterhalten, die aber auch integraler Bestandteil des Ahnenkultes und aller populären Fest- und Feiertage waren. Kaufleute, die weite Strecken durch das Reich zogen und in größeren Städten lokale Landsmannschaften errichteten, pflegten dort die Operntraditionen ihrer Heimat, luden aber auch gerne lokale Künstlertruppen ein, um ihnen unbekannte Opernformen kennen zu lernen. Dabei entstanden neue Opern, Synthesen und Varianten der alten, von denen einige wieder die Gunst der Eliten fanden. Vielfalt und Konkurrenz der Formen sowie die stete Verdrängung der am Hofe etablierten Stile durch die beim Volk populäreren haben eine Tradition hervorgebracht, deren Hauptmerkmal es ist, sich ständig zu erneuern und zu reformieren.

Dem kam freilich ein Umstand sehr entgegen: Während in der europäischen Opernkunst ein Komponist mit seiner Partitur ein Werk ein für alle Mal festlegt, so steht und fällt die chinesische Oper mit dem Schauspieler, der immer auch ihr Neuschöpfer ist. Und während das europäische Singspiel an den florentinischen Fürstenhöfen der Spätrenaissance geboren wurde und zunächst und vornehmlich der Erbauung des Adels diente, erstand die chinesische Oper aus dem Volk und für das Volk. Einen Autor oder Komponisten gab es nicht, die Stücke wurden jahrhundertelang vornehmlich mündlich überliefert.

Gesamtkunstwerk Oper

Als Grundlage für die Standardstücke Jiang Qings diente die im ausgehenden 18. Jahrhundert entstandene Pekingoper. Sie war in ganz China beliebt, vereinigte sie doch unterschiedliche lokale und regionale Stile zu einer „nationalen" Syntheseform. Doch auch diese Form wurde nie museal festgeschrieben. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts bereits begannen Reformer, die inzwischen zur Elitekunst avancierte Pekingoper zu reformieren: Die klassische Pekingoper arbeitet beispielsweise mit extrem reduzierter und subtiler Symbolik: Die Farbe und Musterung einer Schminkmaske, eines Hutes oder eines Mantels verrät dem Kenner bereits den Charakter, die Fertigkeiten und die soziale Stellung der dargestellten Figur, bevor diese auch nur ein Wort gesagt hat. Eine Peitsche mit farbigem Wedel in der Hand des Schauspielers steht für die Anwesenheit eines Pferdes, als Kulisse für einen Berg genügt ein umgekippter Stuhl, das Hochhalten einer schwarzen Fahne steht für Sturm.









„Mit Geschick den Tigerberg erobert" ist das Ziel des Helden der gleichnamigen Modelloper. Die Reitpeitsche signalisiert dem Zuschauer, dass Yang Zirong reitet, die rote Farbe der Peitsche entspricht der des symbolisierten Pferdes (oben). Dass ihm seine Soldaten auf Skiern folgen, verdeutlicht ihre Akrobatik (Mitte). Weil die Gegner von Grund auf böse Banditen sind, haben die Darsteller eine grüne Gesichtsfarbe, laufen gebückt und schwankend (unten). Am Ende steht die Botschaft: Wer sich mit der revolutionären Volksarmee anlegt, verliert (ganz unten).

BILDER: BARBARA MITTLER

Die Reformer forderten realistischere Darstellungen statt solcher Symbolik und sozial engagierte zeitgenössische Themen anstelle „obskurer Geistergeschichten". Ihre Kritik war Teil einer einschneidenden Veränderung im China des ausgehenden 19. Jahrhunderts: Ausländische Mächte hatten in China Territorien erobert, und dem Kaiserreich gelang es immer weniger, Chinas Interessen zu vertreten; Reformen galten als überfällig, wurden aber nur zögerlich angegangen. Nach der Niederschlagung der ausländerfeindlichen und kurzfristig vom Kaiserhaus unterstützten Boxerbewegung durch alliierte Kräfte 1900 häuften sich Umsturzversuche. Eigentlich eher zufällig wurde einer davon im Herbst 1911 in Wuhan zur erfolgreichen Militärrevolte, die sich über das Reich ausbreitete. Zum Jahresende wurde dann die Republik ausgerufen, der letzte Kaiser, Pu Yi, dankte am 12. Februar 1912 ab.

Es folgten rund vier Jahrzehnte Bürgerkrieg, an dem zunächst eine Reihe von lokalen selbst ernannten Militärherrschern, später vor allem die formal regierende Nationale Partei (Guomindang) und die 1921 gegründete Kommunistische Partei Chinas (KPCH) beteiligt waren. Nach dem anti-japanischen ▶



BARBARA MITTLER

Darstellungen der Helden aus den Modellopern waren während der Kulturrevolution allgegenwärtig und erfreuen sich bis heute sehr großer Beliebtheit; hier ein Ölgemälde zur „Ode auf den Drachenfluss".

Krieg (1937–1945), zu dem sich Kommunisten und Nationalisten in einer Einheitsfront zusammengeschlossen hatten, brach der Bürgerkrieg noch einmal kurz und heftig aus. Schließlich kapitulierte der Führer der Guomindang, Chiang Kaishek, und zog sich 1949 mit seinen Truppen nach Taiwan zurück, während der siegreiche Mao Zedong am 1. Oktober die Volksrepublik China ausrief.

Einer, der diese Zeit des Umbruchs miterlebt hat, war Mei Lanfang (1894–1961), ein Opernsänger, der mit seiner grazilen Verkörperung von Frauenrollen nicht nur ganz China, sondern auf Tourneen in den Westen unter anderem auch Charlie Chaplin und Bertolt Brecht beeindruckt hat. Viele Neuerungen, die später die Modellopern der Kulturrevolution kennzeichnen sollten, hatte er bei einem Besuch 1913 in Schanghai kennen gelernt und daraufhin begeistert propagiert. Dort hatte man versucht, das chinesische Theater nach westlichem Vorbild zu modernisieren: Das Opern-Orchester war von der Bühne verbannt und um europäische Instrumente ergänzt worden. Auch Drehbühnen und elektrisches Scheinwerferlicht wurden gebräuchlich (in der Werbung für diese Neuerungen hieß es, man könne so dem Publikum Informationen naturwissenschaftlicher Art nahe bringen). Vor allem aber suchte das Theater Schanghais den Realismus und ersetzte beispielsweise den Stuhl auf der Bühne durch das Modell eines Berges, die schwarze Unwetter-Fahne durch Windgeräusche und fallendes Wasser.

Wiehern statt Peitsche

In den Diskussionen um die Modernisierung der chinesischen Opernkunst kam in den 20er und 30er Jahren auch immer wieder die Forderung auf, das Theater als Schule und den Schauspieler als Lehrer für die Massen zu begreifen. Entsprechend sollten einige typische Elemente der chinesischen Operntradition von den Bühnen verschwinden, so insbesondere sexuelle Anspielungen, Götter und Geisterfiguren. Pamphlete brandmarkten die traditionellen Opern als abergläubisches, akrobatisches Spiel, das im Widerspruch zum modernen Leben stehe. Der Ruf nach zeitgenössischen Themen wurde laut, das Theater solle sich aus dem wahren Leben speisen.

Mei Lanfang integrierte derartige Ideen in seinen eigenen Produktionen. Er führte Opern in zeitgenössischen Kostümen und zu tagespolitischen Themen auf, ersetzte subtile Symbolik durch mehr Realismus. Die erwähnte Peitsche etwa, die die Anwesenheit eines Pferdes andeutete, wurde durch ein Pferdewiehern aus einem Lautsprecher unterstützt. Auch schrieb er Stücke um, sodass sie gut verständliche (politische) Reden in der Hochsprache Mandarin und nicht nur schwer verständliche gereimte Vers-Phrasen enthielten – so sollten sie das Volk effektiver erziehen. Als einer der ersten Schauspieler nutzte Mei Lanfang auch die Möglichkeiten des Films für die Verbreitung der neuen Opernkunst.

Die Reformer der Kulturrevolution setzten diese Ansätze fort, wenn auch in radikaler Form. Denn strikt wie nie zuvor unterlag in jenen zehn Jahren die gesamte Kunst- und Kulturproduktion Chinas genauen politischen Vorgaben. Die revolutionär-romantische Kunst der Kulturrevolution, die aus dem Geist der Volksmassen erstehen und diesen dienen sollte, ließ nur bestimmte Farben, Formen und Klänge zu, die festgeschrieben wurden in Form von achtzehn Modellstücken: zehn revolutionären Pekingopern, vier Balletten, zwei Sinfonien und zwei Klaviermusiken. Diese nach wie vor gespielten

Stücke handeln ausnahmslos von der jüngeren chinesischen Vergangenheit. Sie betonen den Kampf des Volkes gegen äußere und innere Feinde, die enge Zusammenarbeit zwischen Zivilbevölkerung und kommunistischer Armee sowie den Glauben an Mao Zedong und den Sieg der kommunistischen Partei.

Um den didaktischen Effekt solch stereotyper Botschaften zu optimieren, sorgte Jiang Qing dafür, dass diese Werke jeden Einwohner der Volksrepublik erreichten: Auf Feldern und in Fabriken spielten Ensembles in den Arbeitspausen Arien aus den Modellstücken. In den Schulen wurden sie nach genauen Anweisungen einstudiert – bis zur Wattzahl der Glühbirnen war jedes Aufführungsdetail vorgegeben. Auf den Straßen tönten die Stücke aus Lautsprechern; Comics, Tassen, Malschablonen und Poster zeigten ihre Heldinnen und Helden.

Die Modellstücke und die revolutionären Pekingopern galten dabei durchaus nicht als unantastbar: Freiwilligenteams passten sie den lokalen Dialekten und musikalischen Besonderheiten der verschiedenen lokalen Opernstile an; vom Staat bestimmte Künstlertruppen spezialisierten sich auf jeweils ein Werk, das sie vor ausgewählten Vertretern der Bauern, Arbeiter und Soldaten aufführten, um es nach deren Vorschlägen immer weiter zu verbessern (Maos Konzept der „permanenten Revolution“ wurde so auf die künstlerische Produktion übertra-

URSPRÜNGE DER PEKINGOPER

Eine Geschichte des Wandels

Von der Mannigfaltigkeit und Wandelbarkeit der chinesischen Oper zeugt bereits der Name ihres Urtypus, des unter der Mongolenherrschaft der Yuan-Dynastie im 13. Jahrhundert entstandenen *Zaju*: Wörtlich übersetzt bedeutet das „vermischtes Theater“. Zu seinen Quellen zählen Schamanentänze, die möglicherweise bereits im 3. Jahrtausend vor Christus praktiziert wurden. Darin spielten bereits fließende, weite „Wasserärmel“ eine Rolle, die später integraler Teil der Operngestik wurden.

Die Akrobatik gelangte wahrscheinlich im 2. vorchristlichen Jahrhundert aus Zentralasien nach China. In Form von Kampfkünsten wurde sie vor allem in daoistischen und buddhistischen Tempeln zwischen dem 3. und 6. Jahrhundert weiterentwickelt. Religiöse „Wandlungstexte“, die seit dem 8. Jahrhundert überliefert sind, trug man in einer Mischung aus Rezitation und Gesang vor, hinzu kamen kunstvoll vorgetragene weltliche Geschichten und ein reichhaltiges Repertoire musikalischer Suiten und unterhaltender Lieder.

Die Syntheseform *Zaju* vereinte somit schließlich Singen und Rezitieren, Tanz und Akrobatik, Kostüm- und Bühnengestaltung aus diesen sehr verschiedenartigen, regional weit gefächerten und sowohl der Elite- als auch der Populärkultur entstammenden Quellen. Besonders einflussreich für die Weiterentwicklung der chinesischen Oper aus dem *Zaju*, das über die Jahrhunderte von einer populären zu einer höfischen Form wurde und damit kreative Vitalität einbüßte, war das Aufkommen des *Kunqu*. Es entstand im 16. Jahrhundert in Südchina und avancierte schnell zur national anerkannten Kunstform. Die Farbensymbolik seiner Gesichtsmasken sollte großen Einfluss auf spätere Opernformen haben.

Charakteristisch für die *Kunqu*-Oper ist ihr Instrumentarium: Die Bambusquerflöte *Dizi*, die Mundorgel *Sheng*, eine *Pipa* genannte birnenförmige Laute und die Mondgitarre *Yueqin*. Etwa zur gleichen Zeit entstand in Nordchina die so genannte Klapperoper (*Bangzi Qiang*), deren Ensemble ebenfalls die Mondgitarre, darüber hinaus aber nur die zweisaitige Fiedel *Huqin* und die Klapper *Bangzi* verwendete. Während diese Form vor allem im 17. und 18. Jahrhundert große Popularität erlangte, wurde das *Kunqu* in dieser Zeit zum bevorzugten Opernstil der gebildeten Bürger und der Aristokratie. Als Volkstheater dagegen erlebte es einen langsamen Niedergang.



JÜRGEN SIECKMEYER

Integraler Bestandteil der chinesischen Oper sind akrobatische Kampfszenen. Daoistische und buddhistische Mönche entwickelten die Techniken zwischen dem 3. und 6. Jahrhundert nach Christus.

Wenig später entstand in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts die heute wohl bekannteste chinesische Opernform, die Pekingoper: Als Opernkünstler aus den verschiedensten Regionen Chinas 1790 aus Anlass des achtzigsten Geburtstags des Kaisers Qianlong in Peking zusammenkamen, soll sie der Legende nach erfunden worden sein. Sie war aber wohl eher das Produkt eines lang andauernden Syntheseprozesses. Vier regionale Opernstile spielten dabei eine herausragende Rolle: die genannten *Kunqu* und *Bangzi Qiang*, die Form *Yiyang Qiang*, die etwa im 14. Jahrhundert in der Provinz Jiangxi als populäre Form aus dem mittlerweile höfischen *Zaju* entstand, sowie die *Pihuang Xi*, die „Opern aus Arien im *Xipi*- und *Erhuang*-Stil“, aus der Provinz Anhui.

Beispielsweise stammt die für die Pekingoper typische Einteilung in vier Rollenfächer aus der Tradition des *Yiyang Qiang*, die Formen der gesanglichen Ausgestaltung aus *Kunqu*, *Yiyang Qiang* und Klapperoper. Letztere war auch Vorbild für die Betonung des rhythmischen Elements in der Pekingoper und stellte einen Teil des Instrumentariums. Für die Einteilung und Akzentuierung der Arien schließlich war die *Pihuang Xi*-Tradition maßgeblich.

gen). Jede revidierte Fassung der Modellstücke galt als nationales Ereignis, das auf der ersten Seite des wichtigsten Presseorgans, der *Renmin Ribao* (Volkszeitung), verkündet wurde. Das höchste theoretische Organ der Partei, die Zeitschrift *Hongqi* (Rote Flagge), druckte die Libretti komplett sowie mit (kunst-)politischer Exegese. 1970 begann man, die Modellstücke zu verfilmen, um sie so auf ewig zugänglich zu machen.

Glaubt man der chinesischen Statistik, so haben allein zwischen 1970 und 1974 insgesamt 7,3 Milliarden Menschen die Filmversion der Modelloper „Mit Geschick den Tigerberg erobert" gesehen – innerhalb dieser vier Jahre muss demnach jeder chinesische Mann, jede Frau und jedes Kind den Film im Durchschnitt etwas mehr als siebenmal angeschaut haben. Vergleichbares gilt auch für die anderen Modellstücke. Noch heute kann fast jeder, der in dieser Zeit aufwuchs, Arien aus den Modellopern komplett auswendig und begleitet von der richtigen Gestik vorsingen.

Doch reicht ihre Bekanntheit allein nicht aus, die heutige Popularität dieser Stücke zu erklären. Die Modellopern wären vermutlich als Symbol jener Jahre der Unterdrückung und Zerstörung von den Bühnen verschwunden, wären sie nur Revolutionskitsch und nicht im Kern weiterentwickelte chinesische Opern, die in ihrer künstlerischen Perfektion ihresgleichen suchen.

Dem Vorwurf, die revolutionären Pekingopern hätten durch ihr allzu konkretes Bühnenbild, die realistischen Kostüme und verwestlichte musikalische Strukturen ihre wahre Identität als Pekingopern verloren, ist einfach zu begegnen: Denn wer genau hinschaut, entdeckt schnell typische Elemente der Pekingoper wieder. Wie so oft gelang es der chinesischen Oper auch in ihrem kulturrevolutionären Gewand, sich zu wandeln, ohne sich zu verraten.

Dass die Modellstücke Anweisungen geben, wie man sich in spezifischen Situationen des sozialistischen Lebens zu verhalten habe, war nicht nur eine Fortführung der Reformen etwa von Mei Lanfang. Im Grunde hatten auch traditionelle Opern immer erzieherische Funktion – und wurden deshalb seit jeher von staatlichen Zensoren ängstlich überwacht.

Dass gute und böse Figuren anhand von Masken, Kostümen, Bewegungen, Sprache und Musik streng voneinander zu unterscheiden waren, lag ganz im Sinne dieser Didaktik und wurde daher in den Modellopern übernommen. Auch dort standen rotgefärbte Gesichter für einen guten, loyalen Charakter, gräulichgrüne für Bösewichte. Auch die Kostümfarben übernahmen traditionelle Elemente: Grün etwa trugen in traditionellen Opern nur die Tugendhaften, in der Modelloper entsprechend die Revolutionäre.

Auch die Schauspieler der neuen Pekingoper bewegen sich stilisiert nach alten Konventionen. So laufen zum Beispiel Banditen mit Schritttechniken, die auch in traditionellen Werken negativen Gestalten vorbehalten waren: Sie schwanken, wanken, rutschen aus. Häufig bücken sie sich, während positive Figuren aufrecht stehen, aufwärts schauen und ihre Handflächen in dramatischen Posen nach oben öffnen. Nicht einmal die spektakuläre Akrobatik der alten Pekingoper fehlt in den Modellstücken. Eine der schönsten Szenen in „Mit Geschick den Tigerberg erobert" zeigt Soldaten der Volksbefreiungsarmee beim Kampf gegen eine räuberische Bande. Plötzliche Zusammenstöße, atemberaubende Überschläge und mehr oder weniger geschickte Ausrutscher markieren immer deutlich, wer gut und wer böse ist.

Jagdhorn auf dem Tigerberg

Schließlich finden sich klassische Merkmale auch in der Musik wieder. In der traditionellen Pekingoper gab es beispielsweise zwei Arten von Melodiemodulen, *Erhuang* und *Xipi* genannt. Arien in ersterem Stil standen für Reflexionen und Selbstgespräche, die des zweiten – schneller und aufgeregter – dienten traditionell zur Verdeutlichung von spannungsreichen Szenen. Beides gilt auch für die Modellopern, allerdings werden dort zuweilen beide Arienarten – ganz untraditionell – kombiniert, um einen Wechsel von Gefühlen möglichst realistisch darzustellen. Als der Held Yang Zirong aus „Mit Geschick den Tigerberg erobert" auf den Berg reitet, um dort die Banditen auszuspionieren und den Angriff vorzubereiten, singt er zunächst in reflektierendem *Erhuang* von seinem Traum, „dass die rote Flagge über der ganzen Welt flattere". Nach einem kurzen Zwischenspiel zeigt Yang seine Erregung über den baldigen Kampf gegen die Banditen, indem er plötzlich die Arie im *Xipi*-Stil weitersingt.

Diese Szene zeigt überdies, wie europäische Instrumentierung das traditionelle chinesische Orchester verstärken und damit neue Aussageebenen schaffen konnte: Die Szene beginnt mit einer traditionellen Schlagzeugeinleitung, die dann in einen Orchestersatz übergeht,

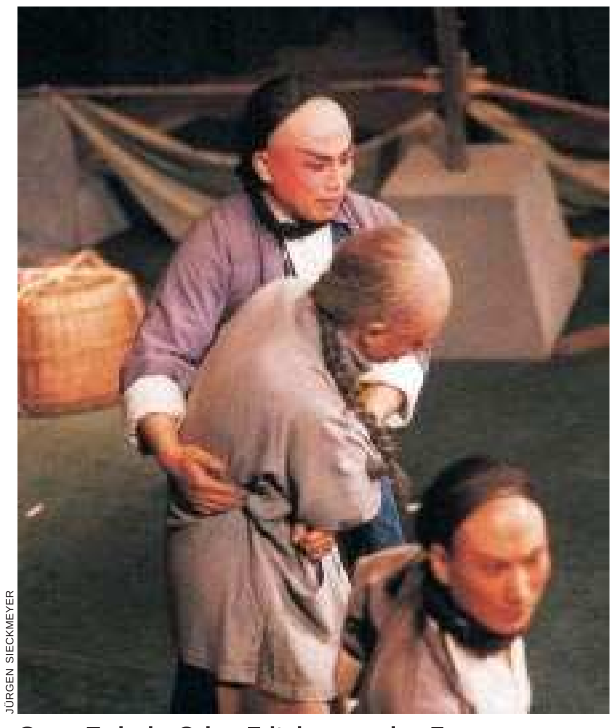
Literaturhinweise

Peking Oper. Theaterzeit in China. Von Michael Gissenwehrer und Jürgen Sieckmeyer. Edition Stemmle, Verlag Photographie AG, Schaffhausen, 1987.

Opera, Society and Politics. Von Hsiao-ti Li (Dissertation), Harvard University, 1996.

The Contemporary Chinese Historical Drama. Von Rudolf G. Wagner. University of California Press. Berkeley, 1990.

Weblinks bei **www.spektrum.de** *unter „Aktuelles Heft"*



JÜRGEN SIECKMEYER

Gegen Ende der Quing-Zeit, kurz vor dem Zusammenbruch der kaiserlichen Manchu-Dynastie, begannen Reformer, die prächtigen Kostüme der Pekingoper durch zeitgenössische zu ersetzen. Statt der stilisierten Hüte und Bärte traditioneller Opern hielt der Realismus in Form von Zöpfen nach Manchu-Art Einzug.

DPA

Ein vornehmer, guter und starker Krieger, wie die rote Gesichtsfarbe und die Drachenmotive auf seinem Kostüm erkennen lassen. Die Fähnchen auf seinem Rücken verraten: Er verfügt auch über ein großes Heer.

der durch regelmäßige und immer höher steigende Achtelbewegungen und Tremolos Yangs schnellen Ritt auf den Berg musikalisch nachmalt. Eine romantische Hornmelodie schafft Waldatmosphäre – erzeugt von dem häufig eingesetzten Jagdinstrument der europäischen Musik. Auch wird die Arie von hohen Holzbläsern, Flöte und Oboe begleitet, die – wieder abgeleitet von europäischer musikalischer Semantik – in den Modellopern idyllische Situationen markierten.

Die Liste traditioneller Elemente in den Modellopern ließe sich beliebig weiterführen, von den stilisierten Gesten, die durch die hoch erhobene revolutionär-romantische Faust nur teilweise ersetzt worden sind, bis zu den Bühnenbildern und Kostümen, die sich um Realismus bemühten. So ergab sich letztlich eine Form der Pekingoper, die trotz aller Beschränkung und Ausrichtung auf die kommunistische Linie lediglich die Reformen der Kritiker aus den 20er und 30er Jahren radikal fortführte.

Mit dem Ende der Kulturrevolution, markiert durch Maos Tod im September 1976 und die Festnahme der „Viererbande“, erhielten Chinas Opernbühnen wieder die Freiheit, traditionelle Stücke in ihr Repertoire aufzunehmen. Auch so genannte „neue historische Opern“, deren Libretti Geschichten aus dem traditionellen China behandeln, durften wieder aufgeführt werden. Hinzu kommen außerdem Produktionen auch von westlichen Stoffen.

All diese „traditionellen“ Opern werden in einer Bandbreite von Stilen inszeniert, deren Spanne von klassisch-symbolistisch bis zu Realismus im Stile Hollywoods reicht. Zudem finden auch Opern und Musicals ihr Publikum, die in der „europäischen Tradition“ des Komponierens seit Beginn des 20. Jahrhunderts entstanden sind. In diesem breiten Spektrum chinesischer Opernformen haben sich nun aber ausgerechnet die politisch motivierten Modellopern seit Mitte der 80er Jahre zur beliebtesten Variante gemausert. Auch wenn ihre politische Botschaft Geschichte ist, sind sie doch offensichtlich integraler Bestandteil des chinesischen kulturellen Erbes geworden. Gerade in einer Zeit, in der die chinesische Opernkunst sich der Herausforderung westlicher Unterhaltungsmedien stellen muss, könnten die Modellstücke unter neuer Flagge erneut Modell stehen: als erfolgreiche Synthese westlicher und chinesischer Kultur auf dem Weg in das 21. Jahrhundert. ■



Die Sinologin ***Barbara Mittler*** *promovierte 1994 über chinesische Avantgardemusik und habilitierte sich 1998 über Schanghaier Zeitungen des 19. Jahrhunderts. Sie schreibt zur Zeit eine Monografie zur Kultur der Kulturrevolution und arbeitet als Hochschuldozentin am Sinologischen Seminar der Universität Heidelberg.*

Inhalt

BILDDATEN-KOMPRESSION

JPEG 2000: neuer Standard für schnelle Bilder

Seit Januar gibt es eine neue Norm für die Bildkompression. Sie soll das bewährte JPEG-Format ablösen, muss sich aber auf dem Markt noch durchsetzen.

Von Christoph Pöppe

Für das schnelllebige Internet ist das Grafikformat JPEG schon fast ein Fossil: Ende der achtziger Jahre formuliert, ist es noch heute das bevorzugte Format für Bilder, die im World Wide Web zum Abruf durch beliebige, ferne Nutzer bereitgehalten werden. Mit der Zeit zeigten sich jedoch auch Schwächen. Das eingeführte JPEG ist auf Fotografien optimiert und liefert schwache Ergebnisse für gänzlich computererzeugte Bilder; mit Mischungen von Bild- und Textteilen kommt es schlecht zurecht, und es kennt 44 verschiedene Betriebsarten (*modes*), die in den meisten Decodern nicht vollständig realisiert sind. Ein Nachfolgemodell soll nicht nur diese Schwächen beheben, sondern auch Bereiche – und damit Märkte – eröffnen, in denen die Datenkompression, das wesentliche Merkmal von JPEG, bisher nicht praktiziert wird. Nun steht JPEG 2000 vor der allgemeinen Einführung.

Die allerdings folgt den üblichen Regeln des anarchischen Internets: Da niemandem die Verwendung des Formats aufgezwungen werden kann, es seine Nützlichkeit aber nur bei weiter Verbreitung entfaltet, muss es durch Qualität überzeugen. Deswegen gehen der Verabschiedung eines solchen Standards regelmäßig lange Vorabstimmungen in internationalen Gremien voraus. Federführend bei JPEG ist die internationale Normenorganisation ISO; unter zahlreichen weiteren Gremien ist auch die namensgebende Joint Photographic Experts Group (JPEG). Kosten darf die Verwendung auch nichts, denn jede Lizenzgebühr würde einer Verbreitung nur im Wege stehen.

Wesentliches Ziel des Standards ist die Reduktion der Datenmengen, die beim Abruf eines Bildes über die Leitung fließen müssen, und damit die Verkürzung der Wartezeit für den Benutzer. Bilddateien sind grundsätzlich datenintensiv; die Redensart „Ein Bild sagt mehr als tausend Worte“ ist vom Standpunkt des Computergrafikers aus maßlos untertrieben. Ein Computerbild besteht aus einzelnen Bildpunkten (Pixeln), und für eine mittlere Bildqualität sollten es schon tausend Pixel in der Länge und tausend in der Breite sein. Bei drei bis vier Farbwerten pro Pixel sind das eher eine Million als tausend Worte, die ein Bild dem Computer sagt; das Schwätzchen kann sich hinziehen, wenn es über eine langsame Datenleitung geht, und ein kleiner Heimcomputer ist mit derartigen Bildern bald zugestopft.

In aller Regel kann ein Bild sich jedoch kürzer fassen. Bei manchen gelingen erstaunlich große Reduktionen der Datenmenge („Datenkompression“) ohne Verlust an Bildqualität. Weitere Kompressionen sind möglich, wenn man Vergröberungen in Kauf nimmt. Das herkömmliche JPEG-Format arbeitet mit einer Fourier-Transformation auf kleinen Bildteilen; das neue verwendet stattdessen die Wavelet-Transformation, die der typischen Struktur eines Bildes besser angepasst ist und deshalb mit geringerem Datenaufwand Resultate vergleichbarer Qualität erzielt (siehe Kasten unten).

Damit die Mühe der Einführung eines neuen Standards auch lohnt, haben die Gremienmitglieder weitere wünschenswerte Eigenschaften in den neuen Standard mit aufgenommen:

➤ Verlustfreie und verlustbehaftete Datenkompression sind nicht wie bisher völlig verschiedene Verfahren, sondern Varianten ein und desselben Algorithmus; das erlaubt es, verschiedene Vergröberungen eines Original-Datensatzes in einem Aufwasch bereitzustellen und auch nebeneinander zur Verfügung zu halten. Ein Nutzer, der eine grobe Version auf seinen Bildschirm geholt hat, muss für ein besseres Bild nur eine kleinere Nachbesserungsdatei anfordern.

Kompressionsverfahren für Bilddateien

Wie definiert man Firlefanz?

Es gibt einfache Möglichkeiten der Datenkompression. Um eine große, einfarbige Fläche zu beschreiben, muss man nicht, sagen wir, tausendmal denselben Farbwert über die Leitung schicken. Es genügt, bei geeigneter Codierung, einmal den Farbwert und dann die Anzahl der Wiederholungen (in diesem Fall 1000) anzugeben. Faxgeräte und das Dateiformat PCX vermeiden mit dieser Lauflängen-Codierung (run-length coding) viel Geschwätzigkeit.

Dieses Verfahren bringt nichts ein, wenn eine große Fläche im Wesentlichen, aber mit kleinen Abweichungen, einfarbig ist. Doch auch hier gibt es noch Abhilfe. Man bilde den Mittelwert über alle Farbwerte einer geeignet gewählten Teil-





C. CHRISTOPOULOS, A. SKODRAS, T. EBRAHIMI

Dasselbe Bild, mit JPEG (links) und JPEG 2000 (rechts) verdichtet auf jeweils ein Achtel Bit pro Pixel (das entspricht einem Kompressionsverhältnis von 1:64).

Das Gesicht der Frau ist als „region of interest“ bei der Decodierung bevorzugt worden (links); rechts das vollständige Bild.



C. CHRISTOPOULOS, A. SKODRAS, T. EBRAHIMI



➤ Diese Abfolge kann zur Regel gemacht werden, sodass der Nutzer in jedem Fall zunächst ein grobes Bild sieht, das sich – solange seine Geduld das zulässt – zusehends verfeinert. Dabei kann die Vergröberung sowohl auf die räumliche Auflösung als auch auf die Qualität der Farbwiedergabe wirken.
➤ Der Bereitsteller des Bildes hat die Möglichkeit, gewisse Teile des Bildes für besonders wichtig (*region of interest*, ROI) zu erklären. Diese Teile werden dann auf Kosten der übrigen vorrangig in höherer Qualität übermittelt.
➤ Die Codierung wurde so gewählt, dass einzelne falsch übermittelte Bits nur eng begrenzten Schaden anrichten; das ist besonders wichtig für die fehlerträchtige Datenübertragung über Mobilfunk.
➤ Gegenüber dem bisherigen JPEG ist der Rechenaufwand für die Codierung wie für die Decodierung eines Bildes deutlich erhöht. Der neue Standard ist so ausgelegt, dass der größere Teil dieses Aufwandes einmalig beim Bereitsteller des Bildes (im Codierschritt) anfällt und der kleinere auf der Empfängerseite bei jedem Bildabruf.
➤ Der neue Standard sieht Möglichkeiten zur elektronischen „Beglaubigung“ vor: Mit dem Bild kommt ein unverfälschbares Echtheitszertifikat oder ein unlöschbarer Urhebervermerk.

Der Kern des neuen Grafikformats ist seit Januar internationale Norm. Erweiterungen, Anwendungen auf bewegte Bilder, Beispielprogramme und andere Ergänzungen sollen bis zum Herbst dieses Jahres verabschiedet sein. ■

Der Autor ist Redakteur bei Spektrum der Wissenschaft.

fläche, übermittle diesen einmalig und dann nur noch für jedes Pixel die Abweichung vom Mittelwert. Da diese Abweichung gering ist, lässt sie sich mit weniger Bits verschlüsseln, was insgesamt die Bilddatei verkleinert.

Diese beiden Maßnahmen reduzieren bereits die Datenflut, ohne die Bildqualität zu beeinträchtigen. Wenn das nicht reicht, muss man Ungenauigkeiten in Kauf nehmen – zweckmäßig solche, die möglichst viel Daten einsparen und dabei möglichst wenig auffallen. Am liebsten würde man allen überflüssigen Firlefanz weglassen und nur das Wichtige übrig behalten. Aber was ist eine mathematische Definition von Firlefanz?

Eine brauchbare Näherung liefert die Fourier-Analyse. In der Akustik ist sie geläufig als ein Verfahren, die hochfrequenten (schnell variierenden) von den niederfrequenten Anteilen zu trennen. Unterdrückung der schnell variierenden Anteile mindert die Qualität, erhält aber wesentliche Teile des Signals, wie die alten Röhrenradios demonstrieren. Angewandt auf die räumliche Folge der Pixel statt auf die zeitliche Folge der Schalldrücke, trennt die Fourier-Analyse die großräumig variierenden von den kleinräumig variierenden Anteilen. Letztere sind so etwas Ähnliches wie Firlefanz; man kann sie weglassen oder mit stark verminderter Genauigkeit wiedergeben, ohne dass es dem Betrachter sonderlich auffällt.

Allerdings steckt hinter der Fourier-Analyse die stillschweigende Annahme, das Signal sei „eigentlich“ periodisch und die Abweichung von der Periodizität nichts weiter als Firlefanz. Wenn das Signal aber nicht periodisch ist – und welches Bild ist das schon –, dann ist dieser Kleinkram auch nicht mehr vernachlässigbar, und die ganze Zerlegung bringt nicht viel ein. Deswegen beschränkt die klassische JPEG-Codierung die Fourier-Analyse auf sehr kleine Bildquadrate der Größe 8×8 Pixel.

Für die Bildverarbeitung angemessener ist es, wenn man das räumliche Signal nicht, wie bei der Fourier-Analyse, an einem periodischen Referenzsignal misst, sondern an einem, das nach rechts und links abklingt. Das ist die so genannte Wavelet-Analyse. Ein Wavelet („Wellchen“) schaut gewissermaßen an einer bestimmten Stelle der räumlichen Achse genau hin und mit zunehmender Entfernung von dieser Stelle immer unschärfer; unter dieser Einschränkung des Gesichtsfeldes vergleicht es das Signal mit einem periodischen Signal.

Ein geeignet gewähltes Sortiment von Wavelets mit unterschiedlichen Gesichtsfeldern und inneren Perioden kann ein Signal genauso vollständig erfassen wie die periodischen Funktionen der Fourier-Analyse; aber wenn die so gewonnenen Werte zur Datenreduzierung vergröbert werden („quantisiert“ sagen die Informatiker, was aber mit Quantentheorie nichts zu tun hat), fällt es dem Betrachter weit weniger auf. Deswegen kann die Wavelet-Analyse auf weit größere Bildteile angewandt werden. Der neue Standard JPEG 2000 verwendet typischerweise quadratische Bildteile der Größe 128×128 Pixel.

SCHIFFFAHRT

Auf die sanfte Tour

Bewuchs auf Schiffsrümpfen kostet Treibstoff, doch übliche Gegenmittel – biozidhaltige Anstriche – schaden Meerestieren. Von denen lernen Wissenschaftler nun, umweltverträgliche Alternativen zu entwickeln.

Von Bernd Daehne

Im Meer sind feste Oberflächen rar und heiß begehrt. Felsen, Muschelschalen, Treibholz oder Wracks – was sich nicht schnell genug davon macht, wird bald als Lebensraum okkupiert. Leider gilt das auch für Handelsschiffe, deren Rümpfe bei langsamer Fahrt und längeren Liegezeiten im Hafen bewachsen werden: zunächst von Bakterien und anderen Einzellern, dann von Algen und Pilzen, schließlich folgen Seepocken und Muscheln. Dieser fachlich als „Fouling“ bezeichnete Bewuchs erhöht jedoch den Wasserwiderstand und damit den Treibstoffverbrauch der Schiffe. Um diese Kosten unter Kontrolle zu halten, müssen die Fahrzeuge regelmäßig ins Dock zur Reinigung, doch auch das schlägt zu Buche.

Deshalb sucht man den Bewuchs zu verhindern: In der Antike durch Kupfer- und Bleiplatten, seit dem 20. Jahrhundert durch biozidhaltige Anstriche. Diese Farben geben jedoch kontinuierlich Gifte ins Wasser ab und töten oder verschrecken so die „Zielorganismen“. Insbesondere Tributylzinn (TBT) hatte sich seit Anfang der siebziger Jahre in der Handels- und Sportschifffahrt weltweit durchgesetzt. Diese Ära dürfte bald beendet sein.

Denn längst sind die „Nebenwirkungen“ solcher Zinnverbindungen bekannt. Sie reichern sich in Wasser und Sediment an, werden von den Lebewesen aufgenommen und in der Nahrungskette weitergereicht. So konnte TBT schon in gestrandeten Walen nachgewiesen werden, die nachweislich nur in der Tiefsee gejagt hatten.

Diese Substanz ist nicht nur hochtoxisch, sondern greift auch in das Hormonsystem zahlreicher Organismen ein. So produzieren weibliche Schnecken unter TBT-Einfluss vermehrt Testosteron und „vermännlichen“, sind also weniger fruchtbar. Auf diesen Effekt führen Meeresbiologen den starken Rückgang zahlreicher Populationen wirbelloser Tiere zurück. Erste Hinweise gibt es auch für eine hormonartige Wirkung von TBT bei Fisch und Mensch. Organozinn-Konzentrationen in den Sedimenten vieler großer und kleiner Häfen haben mittlerweile alle Grenzwerte für biologische Effekte wie Wachstumsstörungen überschritten. Schlamm, der beim Ausbaggern von Fahrrinnen anfällt, darf aus dem gleichen Grund nicht mehr in den Küstengewässern verklappt, sondern muss kostspielig an Land deponiert werden.

Selbstreinigende Oberflächen

Seit Beginn des letzten Jahrzehnts schränken jetzt die Europäische Union, die USA, Australien, Japan und andere Länder den Gebrauch von Organozinn-Verbindungen in Anstrichen auf Schiffen unter 25 Metern Länge stark ein – mit geringem Effekt. Von Verstößen gegen diese Verordnung abgesehen, liegt das wohl daran, dass Organozinn-Verbindungen in den Meeressedimenten nur sehr langsam abgebaut werden.

Die in London ansässige Weltschifffahrtsorganisation (IMO) bereitet deshalb ein generelles Verbot von Zinnverbindungen in Antifouling-Farben vor; es soll noch in diesem Sommer als Konvention verabschiedet werden. Setzen die Mitgliedsländer den Beschluss wie geplant in nationales Recht um, dürfte die neuerliche Verwendung dieser Biozide ab 2003 verboten sein und ab 2008 kein damit ausgestatteter Schiffsrumpf mehr die Weltmeere befahren.

Die Farbenindustrie hat bereits reagiert. Ersatzprodukte basieren allerdings auf giftigen Kupferverbindungen oder keineswegs umweltunbedenklichen organischen Bioziden wie Triazinen, Methylharnstoffen und Dithiokarbamaten. Über deren „Verhalten“ im Lebensraum Wasser gibt es beunruhigende Daten. Die Niederlande, Dänemark und Schweden beschränken ihre Verwendung deshalb bereits per Gesetz. England hat sie vor kurzem verboten, das deutsche Umweltbundesamt will sie nur als Übergangslösung akzeptieren.

Weltweit untersuchen Forschungszentren daher umweltverträgliche Möglichkeiten des „Antifoulings“: selbstpolierende Beschichtungen, Antihaftschichten, Mikrofasern und elektrochemische Verfahren, natürliche Gifte und Abschreckungsstoffe, nicht zuletzt auch spezielle Reinigungsanlagen.

Biozide wie TBT gelangen in das Wasser, weil sich die Farbe, in die sie eingebettet sind, langsam, aber stetig auflöst. Bei so genannten selbstpolierenden Beschichtungen wird die Auflösung noch beschleunigt, doch Gifte enthalten sie nicht. Algen, Bakterien und Muscheln werden also weder abgeschreckt noch getötet, sondern verlieren schlicht ihren Haftgrund. Dabei werden Methacrylate freigesetzt, die vermutlich ohne schädliche Produkte abgebaut werden. Überdies sorgt man für eine bestimmte mikroraue Oberfläche der Farben – Larven der Bewuchsorganismen mögen solche Oberflächen nicht besonders und lassen sich vom Wasser an eine andere Stelle treiben.

Dieses Prinzip der selbstreinigenden Oberfläche ist in der Natur weit verbreitet. Auch Algen, Korallen, Krebse und Meeressäuger befreien sich durch Schälen, Schuppen, Häuten oder Erneuern der Haut von angesetztem Bewuchs. Die ostfriesische Reederei Norden Frisia setzt diesen Beschichtungstyp seit fünf Jahren mit zumeist zufrieden stellenden Ergebnissen für jeweils eine Bewuchssaison ein. Dann muss der Anstrich allerdings erneuert werden. Ob sich diese Standzeit noch verbessern lässt, möglicherweise durch dichtere Schichten, soll ein aktueller Test mit mehreren Schiffen zeigen; mit Ergebnissen ist frühestens 2002 zu rechnen.



Oberflächen mit sehr geringer Oberflächenspannung, wie sie für Silikone, Teflon und Wachse typisch sind, bieten Meeresorganismen Versuchen zufolge nur wenig Halt und werden dementsprechend kaum besiedelt. Auf der anderen Seite müssen diese „Anti-Haftbeschichtungen“ aber selbst am metallenen Rumpf „haften“. Die meisten Farbhersteller haben dieses Problem gelöst, etwa durch eine spezielle Grundierung.

Anders als bei Bratpfannen kann man Teflon nicht unter starker Erwärmung auf das Metall aufsintern, sondern muss es zunächst beispielsweise in Polyurethan als Bindemittel einbringen und dann als Farbe auftragen. Dabei entsteht allerdings keine reine Teflonoberfläche, sondern eine Mischung aus Teflon und Bindemittel, die bislang keine ausreichende Wirkung erzielte.

Erfolgreicher und bereits praxiserprobt sind gummiartige Silikonschichten, zumeist auf Basis von Polydimethylsiloxan, das in manchen Polituren enthalten ist und zur Aufwertung weiblicher Reize implantiert wird.

Versuche zeigten, dass die verschiedenen Besiedler nicht nur die geringe Oberflächenspannung dieser unter dem Mikroskop schwammartigen Schicht scheuen, sondern auch ihre Flexibilität und Mikrorauigkeit. Dazu kommt ein Wasser abstoßendes Verhalten (Hydrophobie). Für die Haftung wichtige „Klebstoff“-Moleküle können sich dann nicht binden. Der große Nachteil dieser Schichten: Sie sind nicht sehr fest und schrammen leicht ab.

Ein dritter Vertreter des Antihaftprinzips sind so genannte hydroviskose Beschichtungen. Ihre Entwicklung beruht ebenfalls auf der Beobachtung natürlicher Vorbilder. Manche Algen, Schwämme und Korallen schützen sich durch Schleimüberzüge vor Bewuchs und dem Anheften von Krankheitserregern. Deshalb wurden verschiedene aufquellende hydrophile Beschichtungen meist aus Zucker oder Polysacchariden untersucht und zu Prototypen entwickelt. Im Süßwasser verliefen Tests erfolgreich, im Meer bislang nicht.

Robben, Seelöwen und -otter schützen ihren Körper durch ein Fell nicht nur gegen Auskühlung, sondern auch gegen Bewuchs. Organismen können sich auf den beweglichen Haaren nicht ansetzen, weil diese aneinander reiben und sich so gegenseitig reinigen. Das sollen filzartige Überzüge aus Polyesterfasern nachahmen. Elektrostatisch aufgeladene, etwa ein Millimeter lange Fasern werden auf einen noch weichen Epoxid-Untergrund geblasen. Beim Aushärten des Kunststoffs werden die Mikrofasern quasi angeklebt, durch ihre Ladung stehen sie senkrecht vom Rumpf ab.

So viel zur Theorie, die Praxis stellt sich schwieriger dar: Das Aufblasen sollte möglichst in einer Halle geschehen, denn Niederschlag und Wind können die Fasern quer legen, doch nur bei senkrechter Stellung erzielen sie die gewünschte Wirkung. Ein guter Bezug schützt ersten Erfahrungen nach gegen Seepocken, nicht aber gegen Algen. Derzeit versucht ein Unternehmen, das System mit anderen Fasermaterialien zu optimieren; auch geeignete Reinigungsverfahren für den bislang nicht zu verhindernden Algenbewuchs sind in der Entwicklung.

Nicht der Natur, sondern der Industrie abgeschaut sind elektrochemische Verfahren: Zum Beispiel spaltet ein schwacher Strom beim System MAGPET von Mitsubishi Heavy Industries elektrolytisch Chlorsalze im Seewasser. Dabei entstehen negativ geladene Chlor-Sauerstoff-Ionen und als Nebenprodukte – im Meereswasser aber sehr wirksam – auch hochtoxische halogenierte Chlorkohlenwasserstoffe. Diese lagern sich als maximal ein Millimeter dünne Schicht an den positiv geladenen Rumpf an und schützen ihn auf diese Weise vor Bewuchs. Werden die Ionen fortgespült, reagieren sie schnell wieder zu Wasser und Salz, die Nebenprodukte sind dagegen häufig stabil. Allerdings erfordert dieses Verfahren einen elektrisch leitenden Farbanstrich und zur gleichmäßigen Ladungsverteilung eine Titanfolie auf dem Rumpf.

Ein zweites Verfahren senkt durch Elektrolyse mit schwächerem Strom dis-



Das hochgiftige TBT konnte den Bewuchs auf diesem Patrouillenboot der Wasserschutzpolizei Niedersachsens nicht aufhalten (links). Auf einer lediglich mit Silikon beschichteten Testfläche (oben) hingegen vermochten sich nur einige kleine Seepocken zu halten, größere wurden abgespült (braun erscheinen Flecken von Mikroalgen, gelb die unbesiedelte Oberfläche der Beschichtung).

ALLE BILDER DES ARTIKELS: B. DAEHNE / NLÖ

kontinuierlich den Säuregehalt im angrenzenden Wasser ohne die Bildung der toxischen CKWs. Die pH-Schwankungen reichen aus, um Ansatz und Wachstum von Organismen zu verhindern. Beide Verfahren sind über die Stromstärke regelbar und lassen sich bei Bedarf – beispielsweise während der Liegezeit im Hafen – einsetzen. Leider hat sich als metallische Schicht zur Ladungsverteilung bislang nur das teure Titan bewährt. Alternativen stehen noch aus.

An dieser Stelle muss man sich freilich fragen, ob es nicht auch einfacher geht, nämlich durch regelmäßige mechanische Reinigung. Aufs Trockendock kommt ein Handelsschiff nur alle drei bis fünf Jahre, das ist oft zu wenig. Taucher können zwischendurch das Gröbste beseitigen, doch solche Einsätze sind sehr teuer. Die USA, Australien und Großbritannien entwickeln deshalb halbautomatische Waschstraßen für Handelsschiffe; für Sportboote gibt es derlei schon. Alternativ zu solchen zwangsläufig großen Anlagen könnten mobile Roboter den Rumpf bearbeiten, während die Ladung gelöscht wird. Voraussetzung für eine Genehmigung wäre freilich, dass der abgelöste Bewuchs für die Entsorgung aufgefangen werden kann.

Allerdings gehen Bürsten oder Hochdruckwasserstrahl recht ruppig zu Werke, die genannten Beschichtungen sind aber derzeit noch recht empfindlich. Deshalb sind einige Reeder dazu übergegangen, auf Antifouling-Maßnahmen ganz zu verzichten, wenn ihre Schiffe Meere mit unterschiedlichen Salzgehalten befahren, nur im Brackwasser operieren oder „fahrplanmäßig“ nur kurze Liegezeiten am Pier haben. Unter diesen Bedingungen siedelt sich kaum Bewuchs auf dem Rumpf an. Bei diesen Schiffen könnte also eine automatische oder halbautomatische Reinigung ausreichen, eventuell müsste man sie mit einer Hartbeschichtung versehen.

Zukunftsmusik sind derzeit noch so genannte biogene Biozide, also der großtechnische Nachbau von Substanzen, wie sie beispielsweise manche Seesterne produzieren, um sich selbst vor Seepocken zu schützen: Die Larven der Letzteren werden von den chemischen Botenstoffen abgeschreckt.

Ihr Vorteil liegt auf der Hand: Diese natürlichen Gifte werden im Meer schnell wieder abgebaut und reichern sich dort nicht an. Doch sie zu identifizieren, ihre Struktur aufzuschlüsseln und sie vor allem in großen Mengen und der geeigneten Form herzustellen, erweist sich als äußerst schwierig. Klar ist, dass eine chemische Synthese das Risiko



Nur ein Mikroalgen-Film hat sich nach einem Sommer auf vier Testflächen mit biozidfreien Beschichtungen gebildet.

birgt, durch geringe Änderungen der molekularen Struktur die Abbaubarkeit der Produkte erheblich zu vermindern. Deshalb dürften solche Stoffe vorwiegend biotechnisch, das heißt von genetisch manipulierten Bakterien hergestellt werden. Danach muss man sie noch durch Einkapseln vor vorzeitigem Abbau bewahren und anschließend in ein Bindemittel einbringen.

Der nächste Schritt wäre sicher nicht weniger aufwendig: Als Biozide durchlaufen solche Produkte ein teures Zulassungsverfahren.

Ob es gelingen wird, einige wenige derartige Stoffe zu finden, die zwar wenig giftig sind, aber dennoch auf viele wichtige Bewuchsorganismen wirken, scheint derzeit noch fraglich. Schließlich setzen die Meeresbewohner selbst zumeist eine Kombination mechanischer, physikalischer und chemischer Antifouling-Strategien zu ihrem Schutz ein. So häutet sich eine Alge, scheidet Biozide aus, reibt sich an anderen Algen und trägt noch einen Schleimüberzug. Letztlich dürfte auch für das technische Antifouling eine mehrgleisige Strategie optimal sein: Wer auf harte Gifte verzichten will, benötigt vermutlich eine Vielfalt von Verfahren.

Der Geograph **Bernd Daehne** *erprobt biozidfreie Antibewuchsmittel für die Schifffahrt bei der Forschungsstelle Küste des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie.*

AM RANDE

Schöner Leben mit der Robot-Oma

Klaus-Dieter Linsmeier stellt sich die Zukunft vor

Es waren einmal drei Brüder“, begann Großmutter zu erzählen und schob ihre Brille zurecht. „Und ohne diese drei sähe unsere Welt nicht so wunderbar aus.“ Erwartungsvoll rutschten die Kinder auf dem Boden hin und her. Großmutter lächelte.

„Der Eine war von Beruf Kommunikator. Noch als Student erfand er im Jahre 2001 einen Toaster mit Internet-Anschluss. Selbst die renommierte Zeitschrift „Nature“ berichtete darüber am 19. April im Band 410. Wenn ihr unter der Marmelade eine Sonne seht, dann wisst ihr, dass das Wetter gut wird, und das verdankt ihr ihm.

Und natürlich den Kühlschrank, der sich immer füllt, sodass keiner mehr Hunger leiden muss, der einen Kryoschlaraff besitzt.“

Großmutter räusperte sich.

„Der Zweite arbeitete als Gewebe-Ingenieur. Er erfand bald darauf die Haut mit Memoryfasern. Deren Formgedächtnis bewahrt vielen Menschen ihr jugendliches Aussehen bis zum Tode.“ Sie legte eine kleine Pause ein, um die Spannung zu erhöhen. „Der Jüngste aber war der Klügste unter den Brüdern. Das



war kein Wunder, denn seine Eltern hatten enorm in seinen Genpool investiert. Ihm verdanken die Menschen den Erleuchtungs-Chip, der die Menschen glücklich macht und ihnen Weisheit gibt. Seitdem herrschen Friede und Liebe selbst in den ärmsten Ländern dieser Welt.“ Großmutter stockte. Die Augen schlossen sich langsam, und ihr Kopf sank vornüber.

SCHIENENVERKEHR

Kontaktsuche am Fahrdraht

Bei rascher Fahrt bringen Stromabnehmer die Oberleitung zum Schwingen. Eine aktive Regelung der Kontaktkraft soll die Probleme mit Stabilität und Verschleiß reduzieren.

Von Wilhelm Baldauf und Bernhard Sarnes

Auf die Frage, wie schnell ein Zug fahren kann, wird mancher zunächst über Motorleistung, Luftwiderstand oder Haftung von Rad und Schiene nachdenken. Doch eine einfache Antwort lautet: So schnell, dass er noch Strom aus der Oberleitung erhält. Denn sobald Kontaktleisten am Fahrdraht entlang gleiten, bringen sie ihn zum Schwingen und zwar umso stärker, je schneller der Zug unterwegs ist. Im Extremfall kann die Stromversorgung sogar vorübergehend vollständig zusammenbrechen.

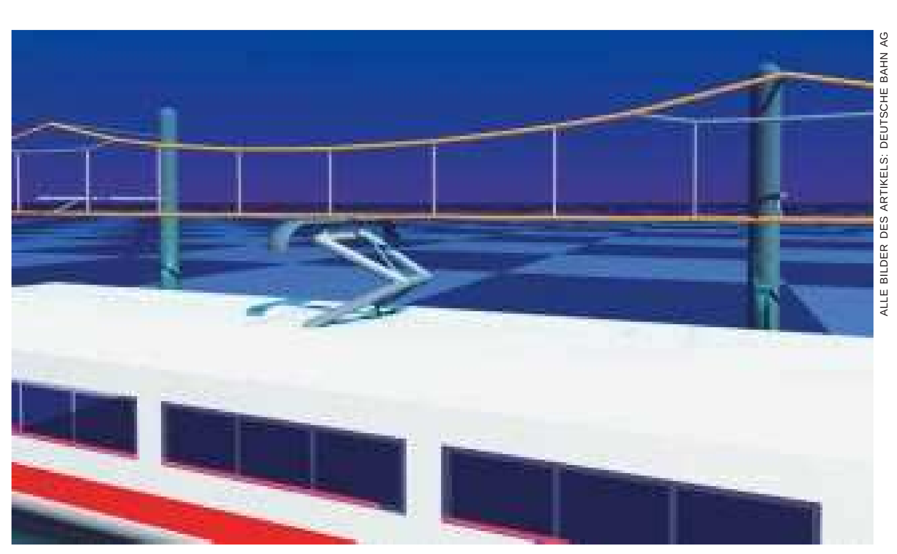
Doch so dramatisch muss es gar nicht werden: Bewegt sich die Leitung nur Bruchteile eines Millimeters von den Schleifkontakten weg, zündet die Hochspannung einen Lichtbogen, schwingt sie darauf zu, erhöht sie den Anpressdruck – beide Effekte verschleißen Schleifstück und Fahrdraht und erhöhen damit die Betriebskosten. Besonders groß wird das Problem, wenn mehrere Stromabnehmer gleichzeitig ausgefahren werden müssen, etwa in einem Verband von Triebfahrzeugen: Der Erste versetzt die Oberleitung in Schwingung und erschwert dadurch die Kontaktgabe des nachfolgenden Stromabnehmers, das Problem schaukelt sich auf.

Der Prozess ist überdies hochdynamisch. Wird die Leitung befahren, breitet sich daran von der Kontaktstelle ausgehend eine mechanische Welle in beide Richtungen aus, je nach Masse und Zugspannung des Drahtes 380 bis 570 Kilometer pro Stunde schnell. Diese Welle wird an Stützpunkten oder Hängern (siehe Infografik) reflektiert und läuft dann dem Fahrzeug entgegen, sodass sich die Schwingungsamplitude der Leitung durch den Dopplereffekt weiter erhöht.

Als kritische Größe dieses Prozesses erweist sich die Kontakt- beziehungsweise Anpresskraft. Zu dem statischen Wert, den die Pneumatik der Hubvorrichtung vorgibt, kommen – allerdings deutlich schwächere – aerodynamische Kräfte, die mit der Geschwindigkeit zunehmen, sowie die geschilderten dynamischen Störungen. Die resultierende Gesamtkraft schwankt statistisch, denn die relevanten Einflussgrößen der gesamten Kette aus Strommasten, Hängern und anderem verändert sich, Masten stehen nicht in gleichen Abständen, Reflexionen überlagern einander.

Eine Analyse liefert den statistischen Mittelwert (*Fm*) und die Standardabweichung (*s*). Als sinnvolle Grenzwerte für die Kontaktkraftschwankungen gelten: maximal 90 Prozent des Durchschnittswerts für die dreifache Standardabweichung nach oben beziehungsweise nach unten ($Fm \pm 3\,s$). Wieder zeigt sich das Problem des Verbandes mehrerer Stromabnehmer: Während beispielsweise der vorlaufende Abnehmer die zulässigen Grenzwerte einer bestimmten Oberleitung erst bei 220 Kilometern pro Stunde überschreitet, ist das für den nachfolgenden schon ab 190 Kilometern pro Stunde der Fall.

Neuere Fahrdrähte auf Hochgeschwindigkeitsstrecken sind auf hohe Zugspannung ausgelegt und können mit Spitzengeschwindigkeiten von 330 Kilometern pro Stunde befahren werden, während ältere maximal 200 Kilometer pro Stunde erlauben. Auch sind moderne Stromabnehmer so gebaut, dass sie ruhiger laufen als noch vor 15 Jahren. Die Systeme der Deutschen Bahn haben bereits einen hohen technischen Stand er- ▶


ALLE BILDER DES ARTIKELS: DEUTSCHE BAHN AG

Das Zusammenspiel von Oberleitung und Stromabnehmer wird im Computer simuliert.

„Oma hat schon wieder keinen Saft mehr“, moserte der Junge. „Wann bringt Dad sie endlich zur Destruktion?“ Seine Schwester nickte. „Müllers haben eine Großmutter, die läuft 24 Stunden ohne Download und schaukelt eine Woche lang im Stand-by.“

Sie schubsten und traten den Androiden, doch ohne Erfolg. Großmutter rührte sich nicht mehr. „Und was machen wir jetzt?“, fragte der Junge gelangweilt. „Du, ich habe zwei Beta-Versionen des neuen Erleuchtungs-Chips. Damit kann man noch höher schweben.“ „Hoffentlich hat er keine Bugs, bei den Betas weiß man nie!“

Der Junge rannte los und holte die Chips, die Kinder schoben sie in ihre Gehirn-Schnittstellen und waren alsbald von göttlicher Erleuchtung erfüllt.

Wunderbare Mandalas vor Augen lösten sie sich vom Boden und schwebten langsam höher, kreisten über der bewegungslosen Großmutter, die im Spannungskoma lächelte.

Ein warnender Gedanke wurde kurz eingeblendet: „Severe System Error: Love agent failure in Lobus frontalis at H00074889764X.“ Dann war wieder reine Freude. Und Liebe erfüllte den Raum ... erfüllte den Raum ... erfüllte den Raum ...

Die Oberleitung

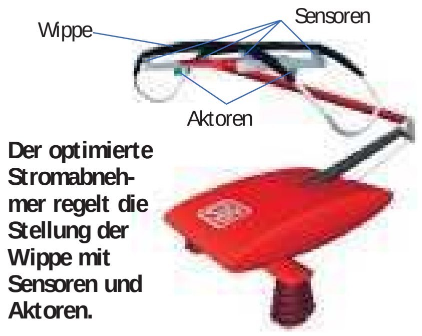
Eine Oberleitung besteht aus dem Strom leitenden Fahrdraht, Haltemasten, Tragseil und Hängern, die den Draht am Seil fixieren. Über Gewichte werden Fahrdraht und Tragseil vorgespannt. Je unelastischer der Fahrdraht ist, desto schneller kann ihn ein Zug befahren – er schwingt dann weniger stark. Die Elastizität ist jedoch nicht gleichmäßig verteilt, sondern beispielsweise zwischen zwei Masten deutlich höher als an den Stützpunkten. So genannte Y-Beiseile gleichen das aus.



Fahrdraht und unterstützende Elemente bilden ein komplexes Kettenwerk.

Der Stromabnehmer

Jedes elektrische Triebfahrzeug verfügt über mindestens einen Stromabnehmer, der pneumatisch oder über Federn an den Fahrdraht gedrückt wird. Den eigentlichen elektrischen Kontakt stellen die Schleifleisten der Wippe genannten bogenförmigen Konstruktion her. Deren Ende bilden die Auflaufhörner, die den Fahrdraht zu den Leisten führen. Der ist so gespannt, dass er zwischen jeweils drei Strommasten zickzackförmig über die Leisten geführt wird und sie so gleichmäßig abnutzt.



Der optimierte Stromabnehmer regelt die Stellung der Wippe mit Sensoren und Aktoren.

reicht. Sollen ICEs und Intercitys noch schneller fahren, gibt es deshalb nur noch zwei Möglichkeiten. Die nahe liegendste wäre der Austausch von Oberleitungen des „langsameren“ Typs gegen „schnellere“, das erforderte allerdings Investitionen in Milliardenhöhe. Vielversprechender ist eine aktuelle gemeinsame Entwicklung des Forschungszentrums der Deutschen Bahn und der Firma Adtranz, die darauf abzielt, die Kontaktkraft zwischen Stromabnehmer und Fahrdraht aktiv zu regeln: Sensoren erfassen die Kontaktkraft, und Regelalgorithmen leiten daraus Steuersignale für Stellelemente ab, um die Kraft immer optimal zu halten.

Auf diese Weise will man folgende Ziele erreichen:

➤ Das bestehende Oberleitungsnetz soll um bis zu 20 Prozent schneller befahren werden können, und das auch im Zugverband mit mehreren Stromabnehmern.

➤ Der Verschleiß der Komponenten soll durch die Reduzierung der Kontaktkraftspitzen und Lichtbögen bei zugleich niedriger mittlerer Anpresskraft etwa halbiert werden.

➤ Eine aeroakustisch angepasste Konstruktion soll zudem die Lärmemission bei sehr hohen Geschwindigkeiten verringern.

➤ Aus den Sensorsignalen sollen über Diagnosealgorithmen Schäden an Fahrdraht oder Stromabnehmer frühzeitig erkannt und so die Wartung unterstützt werden.

Zur Messung der Regelgrößen Kraft und Beschleunigung im realen Betrieb dienen spezielle Sensoren an den Schleifstücken des Stromabnehmers. Deren Signale werden digitalisiert und mittels Lichtwellenleiter in das Triebfahrzeug übertragen.

Eine Wippe, die nicht schwingen soll

Auch die Sensoren haben einiges auszuhalten: Mechanische Erschütterungen, starke elektromagnetische Felder, aber auch Feuchtigkeit, Eis und Schnee machen ihnen zu schaffen. Deshalb verwendet die Bahn beispielsweise robuste Dehnungsmessstreifen als Kraftaufnehmer auf speziellen Verformungskörpern; diese Sensoren sind gut gegen Feuchtigkeit und elektromagnetische Felder isoliert. Piezokristalle, die ihren elektrischen Widerstand beim Einwirken mechanischer Kräfte ändern, bilden den Kern der Beschleunigungsfühler; ihre Signale bereitet eine Elektronik noch im Sensor auf.

Des Weiteren setzen die Entwickler auf Computersimulationen sowie Versuche am Prüfstand und auf der Strecke. Bei den Simulationen werden durch mathematische Modelle die Eigenschaften von Stromabnehmer und Oberleitung beschrieben, und das Zusammenwirken in simulierten Streckenfahrten analysiert. Die am Prüfstand mit dem realen Stromabnehmer nachgebildeten Streckenfahrten ergänzen diese Berechnungen; die hierfür erforderlichen Anregungssignale beruhen auf Mess- beziehungsweise Simulationsdaten von Kontaktkräften und Bewegungen des Fahrdrahtes.

Aufbauend auf aktuellen Stromabnehmern versuchen Wissenschaftler die Ziele mit einer zweistufigen Regelung zu erreichen. Mit der ersten Reglerstufe wird wie herkömmlich über einen pneumatischen Balgantrieb die Schere geöffnet; wie weit, das bestimmt ein elektrisch einstellbares Druckregelventil. Dessen Steuersignal ergibt sich aus dem Sollwert der Kontaktkraft und deren momentanem Ist-Wert.

Diese Regelung reicht allerdings noch nicht aus, um dynamische Kraftanteile zu verringern, denn der Abstand zwischen dem Ventil im Stromabnehmerantrieb und der Kontaktstelle ist recht groß, und es müssen mehr als 20 Kilogramm bewegt werden: Im Endeffekt lassen sich nur dynamische Änderungen der Kontaktkraft bis etwa 0,3 Hertz korrigieren. Das reicht aber aus, den mittleren Wert recht gut einzuhalten und langsame Änderungen auszugleichen, wie sie beispielsweise aerodynamische Kräfte hervorrufen.

Für die zweite Reglerstufe ordnen die Ingenieure Aktoren nahe der Wippe an (siehe Kasten). Damit lassen sich selbst hochfrequente Kraftschwankungen bis zu 15 Hertz ausgleichen, wie die simulierten Streckenfahrten mit einem Versuchsmodell gezeigt haben. Die Schwankungen der Kontaktkraft fallen damit deutlich geringer aus, die Grenzwerte werden erst bei höheren Geschwindigkeiten erreicht. Derzeit entsteht ein Prototyp, der in der zweiten Jahreshälfte seine Testfahrten auf einer realen Strecke absolvieren soll. ■




Die promovierten Elektrotechniker **Wilhelm Baldauf** *(links) und* **Bernhard Sarnes** *arbeiten im Münchner Forschungszentrum der Deutschen Bahn AG. Sarnes leitet die Abteilung „Wechselwirkung Stromabnehmer/Oberleitung“, Baldauf verantwortet dort ein Projekt zur Entwicklung eines aktiv geregelten Stromabnehmers.*

PRÜFTECHNIK

Der Lack ist ab

Des Deutschen liebstes Kind, das Auto, soll möglichst lange glänzen. Wie verschleißfest der Lack ist, soll eine neue Prüfmethode des Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik in Braunschweig feststellen. Dabei rotiert eine wenige Zentimeter große Kugel auf der Lackoberfläche, während eine Suspension aus Schleifpulver darauf tropft. Dieses besteht aus Aluminiumoxid-Partikeln definierter Größe und Kantigkeit. Anschließend wird das Volumen des abgeschliffenen Lacks anhand der entstandenen Delle bestimmt. Das Gerät wird bereits vermarktet.



FHG-IST

Präzisionsschmirgeln am Lack

BILDSCHIRME

LCDs ohne samtenes Reiben

Flüssigkristall-Moleküle für Bildschirme (LCD, Liquid Crystal Display) müssen in einer Richtung ausgerichtet sein. Die Orientierung gibt ein Polymerfilm vor, dessen kettenartige Moleküle ihrerseits durch Reiben mit einem weichen Samttuch ausgerichtet wurden. Dabei verbleiben Verunreinigungen auf dem Polymerfilm. Wissenschaftler des IBM Watson Research Center in Yorktown Heights (New York) entwickelten eine Alternative: Ein Ionenstrahl erzeugt Rillen in einer Diamantschicht, an denen sich die Moleküle ausrichten. Das Verfahren sei kostengünstiger (*Nature, Bd. 411, S. 56*).



IBM WATSON RESEARCH CENTER

Klares Bild dank Ionenstrahl

LANDWIRTSCHAFT

Billiger und besser

Alternative Anbaumethoden gelten gemeinhin als eher unökonomisch. Dem Vorurteil widersprach nun der Agrarwissenschaftler John Reganold von der Washington State University in Pullman (*Nature, Bd. 410, S. 296*). Sein Team legte drei Obstgärten an und züchtete sechs Jahre lang den Tafelapfel „Golden Delicious“. Sie verglichen drei Anbaumethoden: konventionell mit chemischen Pestiziden und Dünger, alternativ mit Kompost und biologischer Schädlingsbekämpfung, integriert mit beiden Verfahren und demzufolge geringerem Chemikalieneinsatz. Gemessen wurden Variablen wie der Verbrauch an Kompost oder Chemikalien, der Einsatz von Wasser und Treibstoff, der Arbeitsaufwand, das Ausmaß typischer Bodenverschlechterungen – etwa verringerter Wasseraufnahme infolge Verdichtung – sowie Produktivität der Gärten und Produktqualität.

Es überraschte nicht unbedingt, dass die alternative wie die integrierte Methode die Umwelt weniger belasteten. Dass damit produzierte Äpfel als knackiger bewertet wurden, mag schon manchen Skeptiker wundern. Zumindest unter den derzeit herrschenden Marktbedingungen, die für organisch angebaute Früchte 50 Prozent höhere Preise erlauben, prognostizierten die Wissenschaftler sogar, dass sich der alternative Garten bereits nach 9, der konventionell bewirtschaftete nach 15 und der integriert betriebene nach 17 Jahren rechnen würden. Läge der Preisaufschlag nur zwischen 10 und 15 Prozent, lieferten sich konventioneller und alternativer Anbau ein Kopf-an-Kopf-Rennen.

Ob sich diese Studie verallgemeinern lässt, bezweifeln die Wissenschaftler. Sie könnte aber darauf hinweisen, dass bei mehrjährigen Pflanzen Chemie und Pestizide nicht unbedingt für den Markterfolg vonnöten sind.



CMA

Der „Golden Delicious“ – rentabel auch mit Öko?

MIKROSYSTEMTECHNIK

Designerplasmen für die Industrie

Oberflächen reinigen, verändern oder beschichten sind Domänen industriell genutzter Plasmen. Diese Gase bestehen zum großen Teil aus Elektronen und Ionen, und Letztere vermögen sehr effektiv chemische Bindungen aufzuspalten. Um die Ausgangsgase derart zu trennen, werden elektrische Felder eingekoppelt. Ionen werden im Feld beschleunigt und ionisieren andere Atome durch Stöße. Dazu ist im Allgemeinen ein schwaches Vakuum erforderlich, sonst kollidieren die Teilchen zu früh, also mit zu geringer Energie. Vakuumtechnik ist aber nicht nur teuer, sie lässt sich auch nicht direkt in Produktionsabläufe integrieren, die unter Atmosphärendruck arbeiten. Abhilfe bieten mikrostrukturierte Elektrodensysteme. Damit sind, wie ein Forschungsverbund unter Koordination der Technischen Universität Braunschweig nachwies, großflächige Plasmen bei Normaldruck möglich.

Das grundlegende Prinzip ist aus der Physik gut bekannt:



TU BRAUNSCHWEIG

Mikroelektroden erzeugen großflächige Plasmen.

Je näher zwei Elektroden einander stehen, desto höher ist das elektrische Feld dazwischen. Mit Verfahren der Mikrosystemtechnik hergestellte Kamm- oder Siebstrukturen erzeugen also auch bei geringer von außen angelegter Spannung unmittelbar an ihrer Oberfläche so starke Felder, dass sie Gase stark ionisieren. Die freie Weglänge der beschleunigten Ionen ist kleiner, ein Vakuum nicht erforderlich. Mit entsprechend geformten Elektrodenstrukturen lassen sich Plasmen den zu bearbeitenden Körpern sogar räumlich anpassen.

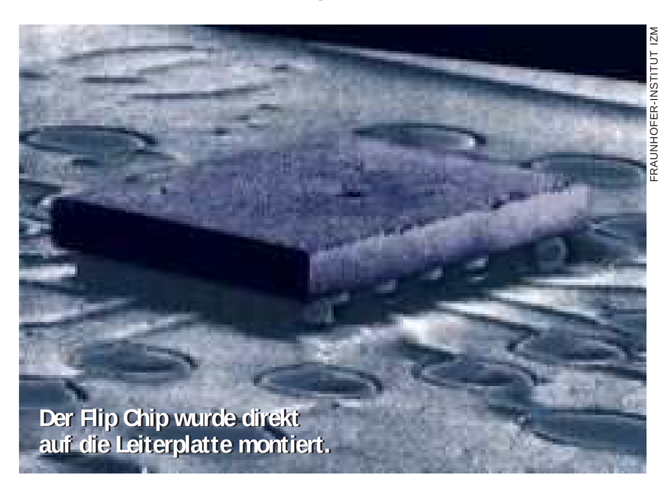
An typischen Aufgaben wie dem Ätzen von Silizium, Modifizieren von Polymeroberflächen und Abscheiden von Schichten wurde die prinzipielle Machbarkeit des Verfahrens nachgewiesen. Während es die Industriepartner nun weiterentwickeln, suchen die Hochschulen nach neuen Anwendungsfeldern wie der Abgasbehandlung.

Süss MicroTec

Verpacken, Kontaktieren

– die unbekannte Seite der Chipfertigung

Ein Teil der Kunst beim Chipdesign besteht darin, die oft mehr als 1000 Anschlüsse zur elektronischen Umgebung zu organisieren und den Silizium-Schaltkreis (IC, *integrated circuit*) darin zu integrieren. Diese Kunst hat einen Namen: „Packaging", zu Deutsch „Verpacken". Wer schon einmal einen Blick auf das Herzstück eines PCs geworfen hat, kennt die herkömmliche Art: Der Chip wird in ein Kunststoffgehäuse gegossen, aus dem kleine Metallfüße seitlich herausführen. Was man nicht sieht, sind die internen Vorrichtungen, um den Schaltkreis wiederum mit den Anschlüssen optimal zu verbinden.



FRAUNHOFER-INSTITUT IZM

Der Flip Chip wurde direkt auf die Leiterplatte montiert.

Damit sind solche Gehäuse oft fünfmal größer als der IC selbst. Es ist auch nicht einfach, die Vielzahl der dünnen Anschluss-„beinchen" sicher und möglichst von Maschinen in korrespondierende Löcher der Leiterplatte zu stecken. Hinzu kommt, dass die „Wirebond" genannten gehäuseinternen Verdrahtungen bei Taktfrequenzen von über einem Gigahertz wie Antennen wirken und die Signalleitung auf dem Chip beeinträchtigen.

Insbesondere bei portablen elektronischen Geräten wie Handys oder Notebooks müssen die ICs aber immer kleiner werden und noch dazu immer mehr Funktionen übernehmen. Deshalb gehen die „Verpackungskünstler" der Halbleiterbranche zu einer anderen Verbindungstechnik über: dem Advanced Packaging. Ein Chip-Gehäuse gibt es dann häufig nicht mehr, den Schutz der Elektronik übernimmt beispielsweise das Produktgehäuse des Handys selbst. Metallkügelchen oder -klötzchen, die so genannten Bumps, ersetzen die bisher üblichen Wirebond-Drähte. Sie sind über die gesamte Chipoberfläche verteilt. Der Chip wird meist „mit dem Gesicht nach unten" direkt auf die Leiterplatte oder ein Substrat gesetzt; man spricht deshalb vom „Flip Chip" (SdW 1/99, S. 93). Seine Rückseite bietet dann einen gewissen Schutz. Werden nun die Bumps erhitzt, so verlöten sie den Schaltkreis mit der Leiterplatte und stellen damit die elekrischen Kontakte her.

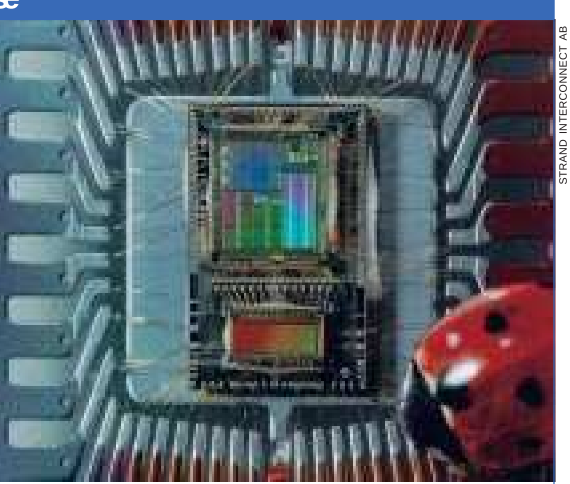
Multi-Kulti im Gehäuse

Mikroplatinen verdrahten Chips

Auch wenn die Tiefenschärfe keine Rolle spielt, findet die Schattenwurf-Technik ihre Anwendung: Wo „lediglich" mikrometerfeine Strukturen photolithographisch zu fertigen sind, sind Mask-Aligner billiger und produktiver als Stepper. Multi-Chip-Module bieten dafür ein gutes Beispiel. Sie kombinieren mehrere Schaltkreise (Chips) unterschiedlicher Funktionalität und Bauweise so auf einer Mikroplatine, dass die Zahl der nach außen zu führenden Kontakte sehr viel geringer ist, als würde man diese Chips separat auf eine herkömmliche Leiterplatte aufbringen und dann miteinander verdrahten.

Eine solche Mikroplatine besteht aus einem Silizium-Träger, mehreren dünnen Lagen elektrischer Leitungen und Isolatorschichten sowie den Kontaktstellen auf dem Mikroplatinenrand. Auf diesen Träger werden die einzelnen Chips montiert und mit Golddrähten verschweißt.

Ein Spezialist auf diesem Gebiet und Anwender der Süssschen Mask-Aligner ist die schwedische Firma Strand Interconnect in Norrköping. Sie ist eine Ausgründung eines dortigen universitätsnahen Instituts. Die Firmengründer entwickelten hier eine besonders effiziente und zuverlässige Technologie für extrem kompakte Multi-Chip-Module der Luft- und Raumfahrt-Elektronik. Ganze Computer-Motherboards konnten damit in streichholzschachtelgroßen Keramikgehäusen untergebracht werden. Das Unternehmen entwickelte das Verfahren weiter, bis damit auch Massenprodukte zu fertigen waren. Strand arbeitet im Auftrag von Firmen der Halbleiter- und Packaging-Branche und stellt die Mikroplatinen aus Silizium her.



STRAND INTERCONNECT AB

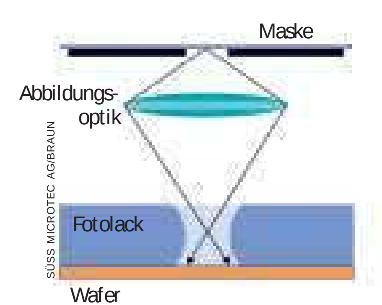
Innenleben eines Videotext-Decoders

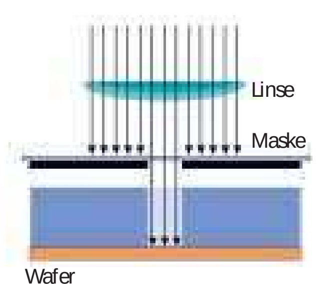
Die komplexen Leitungsschichten bestehen aus Aluminium. Das Metall wird durch Vakuum-Plasma-Zerstäuben (Sputtern) aufgebracht und photolithographisch strukturiert. Die Prozesskette lässt sich automatisieren, wobei dem Mask-Aligner große Bedeutung zukommt.

Das Bild zeigt das Innenleben eines Multichip-Gehäuses, das von außen wie ein normal verkapselter Chip aussieht, tatsächlich aber aus zwei sehr unterschiedlichen Schaltkreisen auf einem Silizium-Träger besteht. Es handelt sich um einen handelsüblichen Videotext-Decoder von Infineon. Die Zahl der nach außen geführten Leitungen ist deutlich geringer als die auf dem Träger selbst.

Hans-Wolfgang Diesing

Der Autor ist Business Development Manager für Strand Interconnect AB.





Der Fotolack ist beim „Advanced Packaging“ zu dick für die Abbildungssysteme der Stepper. Stattdessen verwenden Mask-Aligner genannte Belichtungsautomaten den Schattenwurf der Maske.

Die ideale Methode, um diese Lotkugeln kosteneffektiv zu fertigen, ist die Lithographie. Auf den bereits fertig bearbeiteten Wafer, der nun eine Vielzahl von Chips trägt, wird ein Fotolack aufgetragen und darauf durch Belichten einer Maske und anschließende chemische Entwicklung Löcher erzeugt, die dann galvanisch mit Metall – üblicherweise eine Blei-Zinn-Legierung oder reines Gold – gefüllt werden. Nach dem Entfernen des Restlacks bleiben die fertigen Bumps mit Durchmessern von rund 80 Mikrometern übrig.

Das Verfahren kommt aus der Chip-Herstellung selbst. Der entscheidende Unterschied ist: Der Fotolack hat beim Advanced Packaging eine Stärke von einigen hundertstel Millimetern. Stepper, die in der Chip-Fertigung verwendeten Lithographiesysteme, arbeiten mit Linsensystemen, um die Masken auf die gewünschten winzigen Dimensionen abzubilden. Dann sind aber nur sehr enge Bereiche von weniger als einem Mikrometer um die jeweils eingestellte Brennebene scharf, nicht genug für dicke Lackschichten. Aus diesem Grund verwenden die Lithographen im Packaging so genannte Mask-Aligner, mit Schattenwurf, also parallelem Licht. Die Maske wird 1:1 abgebildet, darf dann aber nur wenige hunderstel Millimeter von der Lackschicht entfernt sein; deshalb spricht man auch vom Proximity-Printing. Ein solches Belichtungsgerät verarbeitet in der Stunde etwa hundert Wafer, doppelt so viel wie die Stepper genannten Projektionsgeräte. Dabei muss es ebenfalls äußerst präzise arbeiten, schließlich hat jeder Wafer bereits einen Marktwert von bis zu 20000 US-Dollar.

Weltmarktführer beim Advanced Packaging mit einem Marktanteil von 70 bis 80 Prozent ist die Süss MicroTec AG, die seit Mai 1999 am Neuen Markt in Frankfurt notiert ist. Das Unternehmen mit Headquarter in Garching bei München ist weltweit der einzige größere Maschinenhersteller, der für Advanced Packaging sowohl Mask-Aligner als auch die „Spincoater“ genannten Maschinen zum Aufbringen des Fotolacks und „Developer“ zur Entwicklung der belichteten Wafer aus einer Hand liefert. Für Spincoater entwickelte das Unternehmen das patentierte „Gryset-Coating-Prinzip“: Der Fotolack wird in einer geschlossenen Prozesskammer geschleudert; so lassen sich besonders homogene Schichtdicken bis zu 200 Mikrometern erreichen, und der Wafer kann nicht vorzeitig austrocknen. Alle drei Maschinentypen – Mask-Aligner, Spincoater und Developer – arbeiten aufeinander abgestimmt. Im Bearbeitungsprozess der neuen 300-Millimeter-Wafer beispielsweise erfolgt der Transport zwischen den zusammengeschalteten Maschinen vollautomatisch.

Süss MicroTec im Profil

Rund 800 Mitarbeiter an neun Standorten im In- und Ausland produzieren Fertigungsgeräte für Halbleiterindustrie und Mikrosystemtechnik. Süss MicroTec hat sich auf Prozesse wie das Advanced Packaging spezialisiert, bei denen vergleichsweise dicke Schichten von mehr als 20 Mikrometern aufgetragen und strukturiert werden müssen. Gegründet wurde die Firma bereits 1949 mit vier Mitarbeitern. 1963 baute sie – in einer zur Werkstatt umfunktionierten Garage – ihr erstes Belichtungsgerät für die Halbleiterindustrie. Der Markt für Advanced Packaging beträgt derzeit insgesamt 500 Millionen US-Dollar und soll bis zum Jahr 2003 jährlich um etwa 72 Prozent wachsen.

Beitrag von ***Ulrike Zechbauer****. Die Autorin arbeitet als Wissenschaftsjournalistin in München.*

Links zu den Unternehmen finden Sie bei ***www.spektrum.de*** *unter „Aktuelles Heft“.*

WISSENSVERMITTLUNG

„Hingehen – staunen – entdecken“

Unter diesem Motto bietet das Universum Science Center Bremen auf spielerische Weise Wissen, Information und Spaß.

Von Gerold Wefer

Schon die äußere Form des Gebäudes macht neugierig. Wie ein riesiger Wal oder eine gigantische Muschel ragt das Universum Science Center aus einem See auf dem Gelände der Universität Bremen. Die Neugier wird auch im Inneren geweckt – und vor allem befriedigt. Auf spielerische Weise wird hier ein Zugang zu komplexen Themen der Wissenschaft vermittelt.

Die besondere Ausstellungskonzeption macht aus Besuchern Akteure: Durch ihre Beteiligung auf spielerische und unterhaltsame Weise erarbeiten sie verständliche und nachvollziehbare Informationen zu wesentlichen Gegenwarts- und Zukunftsthemen der Gesellschaft und verschaffen sich faszinierende Einblicke in naturwissenschaftliche Phänomene. Das Science Center will nicht belehren, sondern vor allem Spaß machen. Es soll zunächst das Interesse für wissenschaftliche Zusammenhänge geweckt werden. Ergeben sich aus dem Erleben heraus Fragen, so können diese mit Hilfe von Computerprogrammen beantwortet werden. Dieses Konzept erlaubt es, zwischen Wissenschaft und Kunst sowie zwischen Information und Unterhaltung zu vermitteln.

Auf etwa 4000 Quadratmetern Ausstellungsfläche gelangen die Besucher in den drei Expeditionen „Kosmos“, „Mensch“ und „Erde“ in gänzlich unterschiedliche Erlebnisräume. Deren Inszenierung und Gestaltung vermitteln einzigartige Eindrücke, und über die rund 200 meist interaktiven Exponate, die zum Mitmachen anregen, können auf spannende Weise Informationen zu den gezeigten Themen erschlossen werden.

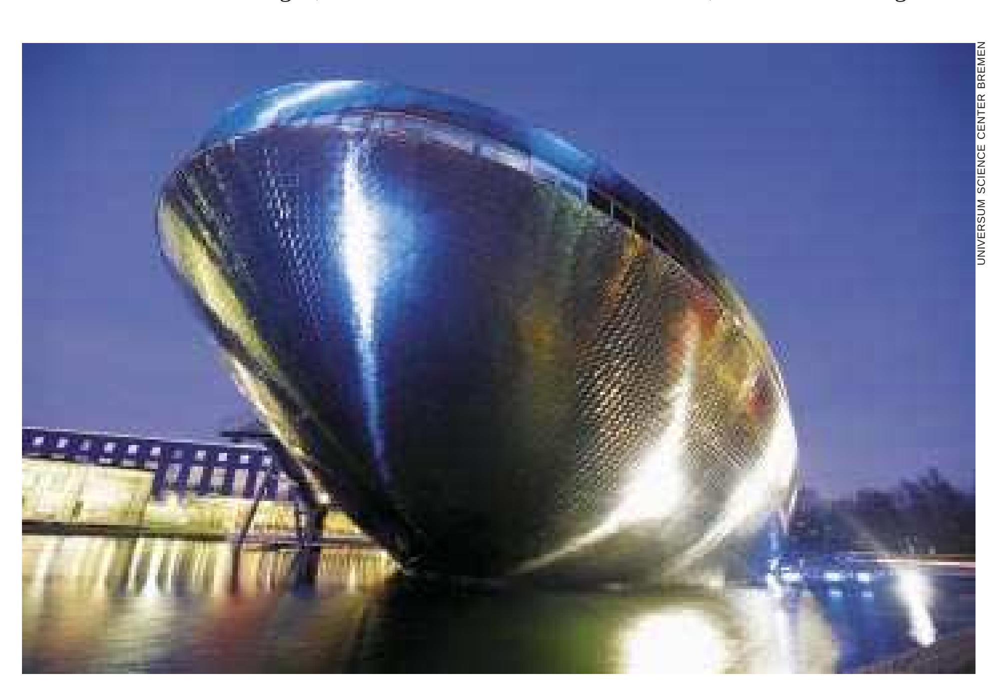
Begehbare Gebärmutter

In der ersten der vier Ebenen sollen alle Sinne über Geräusche, Lichteffekte und Gerüche angesprochen werden. Die zweite Informationsebene bilden interaktive Exponate, die dritte zeichnet sich durch ebenfalls zum Mitmachen anregende Computer-Programme aus. Die vierte Informationsebene befindet sich in der Mediathek, wo etwa zwanzig Computer zur Verfügung stehen, um die vielfältigen Inhalte und Informationen des Science Centers abrufen zu können.


UNIVERSUM SCIENCE CENTER BREMEN

Die Expedition „Erde“ beginnt im Erdmittelpunkt und führt über die verschiedenen Erdschichten bis an die Oberfläche der Erdkruste. Die gewaltigen Kräfte der tektonischen Plattenbewegungen können die Besucher durch simulierte Erdbeben eindrucksvoll am eigenen Körper verspüren. Eine Fahrt im Tauchboot bringt sie anschließend in die Tiefsee zu unbekannten Tieren und zu untermeerischen Vulkanen. Wieder aufgestiegen zur Erdoberfläche können klirrende Kälte in der Antarktis und glühende Hitze in der Wüste erfühlt werden. Das Alter der Erde wird durch vier Zeitzeugen, vier Gesteine, dokumentiert, die zwischen einem Jahr und 4,5 Milliarden Jahren alt sind.

Ausgangspunkt der Expedition „Mensch“ ist das begehbare Modell einer Gebärmutter, in der die Besucher an den Anfang der Menschwerdung zurückversetzt werden. Telefonbücher zeigen anschaulich, wie umfangreich drei Milliarden Informationen sind, die in einer einzelnen Zelle enthalten sind. Nur acht Merkmale dieser genetischen Information reichen statistisch gesehen aus, um zwischen 20000 Individuen zu unterscheiden. Weitere Exponate und multimediale Inszenierungen, wie zum Beispiel ein Tasttunnel, vermitteln in ihrer


UNIVERSUM SCIENCE CENTER BREMEN

Das Gebäude des Universum Science Centers Bremen erinnert an einen Wal oder an eine Muschel. Die Außenhaut besteht aus rund 35000 Edelstahlplatten.



UNIVERSUM SCIENCE CENTER BREMEN

DPA

Ein künstlicher Tornado (rechts) macht die Naturgewalten sichtbar.

Gesamtdramaturgie lebendige Eindrücke aus Bereichen, die unserer bewussten Wahrnehmung sonst verschlossen bleiben. Wie zum Beispiel entstehen Angst oder Träume? Was ist Bewusstsein? Mehrere Exponate behandeln die Vielseitigkeit unserer Wahrnehmung und unserer Reaktion. Abgeschlossen wird dieser Expeditionsteil durch einen Abschnitt „Zeit“. In einer Galerie von hundert Bildern sieht man die Entwicklung des Menschen von der Geburt bis zum Tod – vom Säugling bis zum Greis.

Zu Beginn der Expedition „Kosmos“ begeben sich die Besucher auf eine Zeitreise, die sie 15 Milliarden Jahre in die Vergangenheit führen. Mystische Vorstellungen inszenieren den Urknall und die ersten Sekunden des Universums. Zahlreiche Exponate und Installationen vermitteln die Bedeutung von Schwingungen, Wellen und Energie und zeigen auf, welche Kräfte auf die Materie wirken. Spiegelinstallationen und ein riesiger Sternenhimmel verschaffen die Illusion von Unendlichkeit. Das nicht voraussagbare Element in der Entwicklung des Kosmos – Chaos – wird durch einen im Luftstrom tanzenden Ball und durch einen Pendeltisch illustriert, mit dem sich aus einfachen Bewegungen komplexe Muster entwickeln lassen.

Die Universität Bremen und das Universum nutzen die Ausstellung, um gemeinsam eine Brücke zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit zu bauen. An der inhaltlichen Gestaltung und Planung haben sich dreißig Dozentinnen und Dozenten der Universität beteiligt. Damit sollen auch die Forschung an der Universität transparenter gemacht und der Dialog mit der Bevölkerung verbessert werden. Jungen Leuten mag dies durchaus auch eine Orientierungshilfe bei der schwierigen Berufsfindung bieten. Die Initiatoren erhoffen sich zumindest, dass das Science Center dazu beiträgt, die eigenen Interessen besser zu erkennen und eine qualifizierte Entscheidung für die Berufs- beziehungsweise Studienfachwahl zu treffen. Die Bevölkerung zeigt großes Interesse an den wissenschaftlichen Themen des Science Centers. Nach sieben Monaten Betrieb konnte bereits der 300 000ste Besucher im Universum begrüßt werden. ■

Gerold Wefer *ist Professor für Meeresgeologie und wissenschaftlicher Koordinator der Universum-Planungsgruppe der Universität Bremen.*

WISSENSCHAFTS-AKADEMIEN

Super-Akademie, Akademien-Netz oder Konvent ?

In die deutschen Gelehrtenversammlung kommt Bewegung. In einem ersten Annäherungsversuch wollen sich Akademien zu speziellen Themen vernetzen.

Von G. Hartmut Altenmüller

Angestachelt von einem „Außenseiter“, der überregionalen Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina, trafen sich am 22. Mai die Präsidenten der sieben regionalen Akademien und der Leopoldina, um den Vorschlag zur Bildung eines Nationalen Wissenschaftskonvents zu beraten. Dieser Versammlung könnten sich auch die Chefs der großen Wissenschaftsorganisationen – wie Deutsche Forschungsgemeinschaft, Max-Planck-Gesellschaft, Helmholtz- und Leibniz-Gemeinschaft – anschließen. Das Ergebnis wäre eine Gesamt-Repräsentanz, ein gemeinsames Sprachrohr der Wissenschaft. Der Konvent könnte die deutsche Wissenschaft international vertreten und auf nationaler Ebene als unabhängiger und kompetenter Berater und Dialogpartner für Politik und Gesellschaft zur Verfügung stehen.

Doch die Präsidenten der sieben regionalen Akademien lehnten diesen Schritt überraschend ab. Stattdessen wollen sie in interakademischer Vernetzung spezielle Themen erörtern und die Ergebnisse dann an die Politik herantragen. Die Leopoldina hingegen wird ihren Konvents-Plan weiter verfolgen.

Mehr als ein Jahrzehnt lang ist die Gründung einer nationalen Deutschen Akademie der Wissenschaften ergebnislos diskutiert worden. Zunächst war die Leopoldina in Halle (Saale) – die seit 1652 bestehende älteste Akademie in Deutschland – dazu ausersehen (siehe Spektrum der Wissenschaft 4/1991, S. 49). Der damalige Bundesforschungsminister Heinz Riesenhuber regte an, sie innerhalb von zehn Jahren dazu umzuformen. Doch ihr Senat lehnte dieses Angebot 1992 ab, „ob aus Bequemlichkeit oder Ängstlichkeit, sei dahingestellt“, wie Leopoldina-Präsident Benno Parthier auf der letzten Jahresversammlung im April 2001 spitz anmerkte.

Die Überlegungen zu einer nationalen Ergänzung der föderalistischen Wissenschaftsstruktur in Deutschland waren damit aber nicht beendet. 1994 fanden sie sogar Eingang in die Koalitionsvereinbarungen. Die lockere „Konferenz“ der Länder-Akademien begann, sich als festere „Union“ zu begreifen. Die überregionale Leopoldina, deren rund tausend Mitglieder aus ganz Deutschland, der Schweiz und Österreich stammen, reformierte ihre Organisation und stärkte ihre Handlungsmöglichkeiten. Der Präsident der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (BBAW), Dieter Simon, verfolgt beharrlich das Ziel, aus der Hauptstadt- eine zentrale National-Akademie zu machen (siehe Spektrum der Wissenschaft 10/1998, S. 96).

Sprachrohr der Wissenschaft

Dafür baute er erste Kooperationen auf. So initiierte er 1997 mit der Nordrhein-Westfälischen Akademie einen „Konvent für Technikwissenschaften“, der Anfang April 2001 von der Akademien-Union übernommen und offiziell gegründet wurde. 1999 gründete die BBAW zusammen mit der Leopoldina die „Junge Akademie“ für den wissenschaftlichen Nachwuchs. Simon schwebte eine spätere Fusion mit der Leopoldina zu einer Deutschen Akademie der Wissenschaften in Berlin vor.

Diese „gemeinsame Unternehmung“ sei aber jetzt von der Leopoldina aufgekündigt worden, sagt Simon erbittert. Am 5. April stimmte deren Senat einem Konzept des Präsidiums im Grundsatz zu, „dass sich die Leopoldina für die Gründung eines von den Akademien und den deutschen Wissenschaftsorganisationen gestützten Nationalen Wissenschaftskonvents einsetzen wird“. Parthier begründete einen Tag später in Halle vor der Leopoldina-Jahresversammlung diesen Vorschlag. Simon verließ sofort nach dieser Eröffnungsansprache – offensichtlich verstimmt – die Veranstaltung.

Der Wissenschafts-Konvent ist ziemlich genau das, was Leopoldina und BBAW gemeinsam vorhatten. Nur hegt Parthier den Verdacht, dass im Namen der Nationalen Akademie der Begriff „Leopoldina“ nicht mehr auftauchen könnte. Der sei zumindest in der nach wie vor existierenden, nur zur Zeit nicht tagenden gemeinsamen Kommission zwischen BBAW und Leopoldina nicht eliminiert worden. Darüber, dass das Management und der Präsident der Nationalen Akademie in Berlin sitzen müssten, herrschte offensichtlich Einigkeit. Allerdings ist für Parthier der Ort, an dem die Nationale Akademie arbeitet, nicht unbedingt die Hauptstadt. Simon dagegen hält an seinem Konzept der Hauptstadt-Akademie fest. „Wir sind eben jetzt Konkurrenten“, stellt er im Blick auf den Entscheid von Halle fest, und reihte sich am 22. Mai in die Ablehnungsfront gegen den Konventsvorschlag der Leopoldina ein.

Es ist höchste Zeit, in Deutschland eine zentrale wissenschaftliche und transdisziplinäre Autorität zu schaffen. Eine ihrer wichtigsten Aufgaben, die wissenschaftliche Politikberatung, droht die Bundesregierung nun dem Anfang Mai gegründeten Nationalen Ethik-Beirat zuzuweisen. Dieses neue Gremium ist allerdings auf die Lebenswissenschaften beschränkt und soll als dauerhaftes Forum des Dialogs die verschiedenen wissenschaftlichen, gesellschaftlichen,



philosophischen und theologischen Positionen reflektieren und keineswegs ein Sprachrohr allein der Wissenschaft sein.

Gönnerhaft bot deshalb der Parlamentarische Staatssekretär im Bundesforschungsministerium, Wolf-Michael Catenhusen, auf einem von Spektrum der Wissenschaft und der Volkswagenstiftung im April in Heidelberg veranstalteten Symposion der Wissenschaft an, sich als „eigene Bank“ dort einzubringen. Sehr viel deutlicher forderte in diesem Disput zum Thema „Wie treffen sich Forschung und Öffentlichkeit?“ der Konstanzer Philosoph und Wissenschaftstheoretiker Jürgen Mittelstraß, die Wissenschaft in Deutschland müsse wieder lernen, zu einem agierenden Subjekt zu werden. Der „Allianz“ gelinge dieses nicht, dort verträten die Wissenschaftsorganisationen nur jeweils ihre eigenen Interessen, und bei der Besetzung der Enquete-Kommissionen des Bundestags formuliere die Wissenschaft nicht ihr Verlangen, dort vertreten zu sein.

Wichtigste Aufgabe: wissenschaftliche Politikberatung

Die sieben regionalen Wissenschaftsakademien haben sich bisher als unfähig erwiesen, ihr überkommenes Wissenschaftsverständnis zu aktualisieren und aus ihrer Union „eine organisierte Stimme der Wissenschaft Deutschlands“ zu formen, die der Präsident der Max-Planck-Gesellschaft, Hubert Markl, verlangt. Mit dem Beschluss zur interakademischen Vernetzung wollen sie sich nach den Worten des Vorsitzenden der Akademien-Union Clemens Zintzen dieser Aufgabe stellen. Einen zwiespältigen Eindruck hatte nämlich ihr Interakademisches Symposium hinterlassen, das sich im Februar in München mit der Rolle der wissenschaftlichen Akademien im dritten Jahrtausend beschäftigte. Zwar plädierten dort Wolfgang Frühwald, Präsident zunächst der Deutschen Forschungsgemeinschaft, heute der Alexander von Humboldt-Stiftung, und Winfried Schulze, bis vor kurzem Vorsitzender des Wissenschaftsrates, dafür, die Akademien sollten neben ihren traditionellen, mehr nach innen gerichteten Aufgaben – wie Langfristprojekte und transdisziplinärer Dialog – ihre Aktivität auch deutlicher nach außen richten. Sie schlugen eine dem Vorbild des amerikanischen National Research Council (NRC) entsprechende Einrichtung vor. Deutliche Unterstützung dafür fanden sie vor allem bei Markl und dem sächsischen Wissenschaftsminister Hans-Joachim Meyer. Zintzen hält dagegen eine Po- ▶

litikberatung nach NRC-Muster in Deutschland nicht für möglich.

Allerdings: Der Hauptstreiter für eine Reform innerhalb der Union, Simon, war erst gar nicht zu dem Treffen nach München gereist. Er hätte dort für seine Vorstellungen wieder einmal nur Ablehnung erfahren. Die Verfechter der konservativen Linie haben nach außen die Oberhand behalten und wehren sich mit wütender Polemik nicht nur gegen kritische Medienberichterstattung, sondern auch gegen das „‚arrogante‘ Vordrängen einer einzelnen Akademie“, wie Zintzen in einem nachträglichen Resümee schreibt. Freilich können sich die Akademien auf Dauer nicht davor drücken, neue Anforderungen und Probleme zu akzeptieren. Sie hätten sie nach Zintzens Meinung mit den Wissenschaftsorganisationen „zu präzisieren, zu bedenken und dann auch ungefragt dazu in der Öffentlichkeit Stellung zu nehmen“.

Eine solche eher geisteswissenschaftlich bestimmte Zurückhaltung pflegt die Deutsche Akademie der Naturforscher nicht. Der Leopoldina-Präsident betonte bei der feierlichen Eröffnung der Jahresversammlung, dass selbst hochaktuelle Fragen wie die Maul- und Klauenseuche als Herausforderung an die Wissenschaft zu verstehen seien – eine Auffassung, die Zintzen ausdrücklich ablehnt. Beim Thema BSE ist die Leopoldina schon sehr frühzeitig tätig geworden, allerdings – und das ist typisch für den gegenwärtigen Zustand der wissenschaftlich initiierten Politikberatung – mit geringem Erfolg. Empfehlungen ihrer Sektion Veterinärmedizin blieben bereits 1996 bei Bund und Ländern ohne Echo. Ein neues Memorandum sowie eine Pressemitteilung Anfang Januar 2001 wurden erneut – von wenigen Ausnahmen abgesehen – mit Nichtbeachtung bestraft. Für Anfang Mai wurde nun ein internationales Symposium in Wien zum Thema „BSE-Wahnsinn und Wirklichkeit“ vorbereitet, und von einer Veröffentlichung der Stellungnahme in einer Fachzeitschrift (Naturwissenschaftliche Rundschau) erhofft sich Parthier einige öffentliche Wirkung.

Den nachhaltigsten Anstoß für eine zentrale Einrichtung der Wissenschaft mit tatsächlich vernehmbarer und akzeptierter Politikberatung, Auslandsrepräsentanz, Nachwuchsförderung und auch der Wahrnehmung von Langzeitprojekten der kulturwissenschaftlichen Grundlagenforschung dürften die in München vorgetragenen Gedanken der beiden Geisteswissenschaftler Frühwald und Schulze zusammen mit der Aktivität der Leopoldina-Naturforscher gebracht haben. Dieser Nationale Wissenschafts-Konvent sollte in der föderalistischen Bundesrepublik an die Stelle einer nationalen Deutschen Akademie der Wissenschaften treten. Er wird zwar wesentlich von den mächtigen Wissenschaftsorganisationen mitbestimmt. Den sich an traditionelle Konzepte gebunden fühlenden Akademien der Union bleibt aber nicht viel anderes übrig, als dabei mitzumachen, wenn sie nicht ganz ins Abseits fallen sollen. Er bietet zudem Raum für andere Aktivitäten: Die BBAW könnte ihre Sonderrolle als Hauptstadtakademie in dieses Konzept mit einbringen. Der Bund sollte seinen politisch ausgewählten Nationalen Ethik-Beirat nicht nur im Gebäude der BBAW unterbringen, sondern auch geistig der Wissenschaft anvertrauen. Die von der breiten Öffentlichkeit fast unbemerkten weiteren Gründungsvorhaben, etwa einer Hamburgischen Akademie der Wissenschaften, hätten dort ebenfalls ihren Platz. Aber: Wo bleibt dann die so groß in Szene gesetzte Aktion „Wissenschaft im Dialog“? ■

G. Hartmut Altenmüller *ist Bonner Korrespondent von Spektrum der Wissenschaft.*

SPEKTRUM-INTERVIEW

Den Finger auf die Wunde legen

Die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina möchte Akademien und Wissenschaftsorganisationen zu einem Konvent zusammenführen. Spektrum der Wissenschaft sprach darüber mit dem Präsidenten der Leopoldina, dem Biologen Benno Parthier.

Spektrum der Wissenschaft: *Herr Professor Parthier, Sie haben einmal gesagt, die Leopoldina sei „mit ihren Strukturen aus der Vergangenheit kaum in der Lage, zukunftsbestimmende wissenschaftsorientierte Aufgaben zu bewältigen“. Mittlerweile hat der Senat der Akademie dem Konzept eines Nationalen Wissenschaftskonvents grundsätzlich zugestimmt. Wie stehen die rund tausend Mitglieder der Leopoldina heute dazu?*

Prof. Benno Parthier: Der Senat steht voll dahinter. Den Mitgliedern habe ich das Projekt ausführlich vorgestellt. Wir brauchen dafür zwar nicht die Zustimmung aller Mitglieder, wollten aber ein Meinungsbild haben. In den Diskussionen wollten mehrere Mitglieder einige Formulierungen geändert haben, abgelehnt wurde das Konzept aber nicht.

Spektrum: *Wie soll der Konvent an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Gesellschaft zusammengesetzt sein?*

Parthier: Eine der Aufgaben des Konvents soll sein, die Öffentlichkeit stärker an die Wissenschaft heranzuführen. Das macht zwar auch die Leopoldina. Nur: Wir gehen nicht in das Volk, sondern hoffen, dass das Volk zu unseren öffentlichen Veranstaltungen kommt.

> **„Wir hoffen, dass das Volk zu uns kommt.“**

Der Konvent hingegen ist als eine geballte Einheit der Akademien und der Wissenschaftsorganisationen gedacht. Auch der Wissenschaftsrat müsste angebunden sein. Im Gegensatz zu der „Allianz“ der etablierten Wissenschaftsorganisationen vertritt hier jeder Teilnehmer nicht die Interessen seiner Organisation, sondern alle Konventsmitglieder entscheiden ihren Fachkompetenzen und individuellen Überzeugungen gemäß unabhängig.

Spektrum: *Und die Politikberatung?*

Parthier: Ich stelle mir vor, dass im Konvent die wichtigen Probleme erkannt und erarbeitet werden. Daraus sollen Empfehlungen, Expertisen oder Prognosen entstehen. Dann erst sollte er an die Politik herantreten, vorher noch nicht. Erst müssen sich die Wissenschaftler untereinander einigen. Wenn man so etwas aufbaut, muss das anders finanziert werden als bisher. Ist die Finanzierung geregelt, wären wir auch bereit, der Politik ▶

(Seiten 99 bis 102: Anzeigen und Beihefter)

Empfehlungen vorzulegen, die gesellschaftlich und politisch relevante Themen betreffen, aber in der Regel keine Tagesfragen und keine Auftragsarbeit von der Politik sind. Doch auch solche kann es in Ausnahmefällen geben.

Spektrum: *Schon zweimal hat die Leopoldina aus wissenschaftlicher Sicht versucht, der Politik Hinweise zum Verhalten im Falle von BSE zu geben – beide Male vergeblich.*

Parthier: Das ist ein klassisches Beispiel. Die Verbraucherschutzministerin Künast macht jetzt alles das, was wir damals empfohlen haben.

Spektrum: *Auch bei Maul- und Klauenseuche herrscht in der Öffentlichkeit eine große Unsicherheit: Soll man impfen oder nicht? Müsste der Konvent, wenn es ihn schon gäbe, dazu Stellung nehmen?*

Parthier: Ja, und zwar schon frühzeitig. Das wäre ein Fall, in dem er tatsächlich verpflichtet wäre, eine Art Hilferuf der Politik aufzunehmen und sehr schnell zu reagieren. Das wäre einer der erwähnten Ausnahmefälle.

Spektrum: *Der Konvent soll also ungefragt seine Meinung abgeben können?*

Parthier: Sein Spezifikum ist, dass er keine Auftragsarbeiten ausführt. Die Wissenschaft selbst soll sich mit den Problemen der Gesellschaft so beschäftigen, dass sie die Finger auf die Wunde legen und feststellen kann: Dort müssen wir der Gesellschaft und auch der Politik etwas sagen. Das wäre der richtige Weg.

Spektrum: *Wer müsste die Initiative dazu ergreifen?*

Parthier: Die Gründungsinitiative sollte von der Leopoldina ausgehen. Als eine in sich geschlossene Akademie ist sie dazu geeignet. Bei der Union der sieben Landesakademien wird es schwieriger. Wir wollen das aber unbedingt mit diesen und nicht gegen sie machen.

Spektrum: *Sollte der Konvent nicht ursprünglich ziemlich politiknah sein?*

Parthier: Jein – wir haben eingesehen, dass das nicht gehen wird. Im Prinzip hat Anfang März der sächsische Wissenschaftsminister Meyer, der auch Mitglied unseres Senats ist, in einem Artikel im „Tagesspiegel“ ein nationales Forum der Wissenschaft zur Politikberatung vorgeschlagen. Er hält es für richtig, wenn dieses „durch eine Initiative aus der Wissenschaft und im Zusammenwirken mit der Politik geschaffen würde“. Nach unseren Vorstellungen, die der Senat bestätigt hat, soll ein deutscher Wissenschaftskonvent als interdisziplinäre Gesamtrepräsentation der Wissenschaft gegründet werden – durch Bund und Länder mischfinanziert und hoheitlich im Bundespräsidialbereich angebunden. Parlamentarischen Parteienstreit in die Wissenschaft hineinzutragen wäre in diesem Fall kontraproduktiv und könnte kaum dem Ansehen einer solchen Einrichtung und dem Grundkonsens nützen, die Unabhängigkeit zu bewahren.

„Verunsicherte Öffentlichkeit in Schützengräben getrieben“

Spektrum: *Sie haben in Ihrer Rede von einer Dreiteilung der Schuld in Bring-, Objektivitäts- und Aufnahmeschuld gesprochen. Wie beziehen Sie die Öffentlichkeit mit ein?*

Parthier: Zunächst einmal: Wir haben beschlossen, dass alle Entscheidungen veröffentlicht werden. Natürlich geht das auch über die Presse. Wir wollen die Medien ja nicht ausgrenzen. Am Beispiel BSE zeigte sich, dass der Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft, in dem sich der Forscher selbst stärker in die Wissensvermittlung einschaltet, zweifellos verbesserungswürdig ist. Es wäre fatal, wenn sich in dem magischen, untrennbaren Dreieck – Wissenschaft mit ihrer Bringschuld, Medien mit ihrer Objektivitätsschuld, Gesellschaft und Politik mit ihrer Aufnahmeschuld – alle unschuldig fühlten.


LEOPOLDINA

Benno Parthier ist Präsident der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina.

Spektrum: *Warum ist von Ihren Aktivitäten – wie etwa zu BSE – so wenig an die Öffentlichkeit hinausgegangen?*

Parthier: Das kann man alles unter Objektivitätsschuld subsummieren. Die Medien als wichtigste Informationsquelle der Bürger sollen etwa im Falle BSE nicht immer nur Hysterie ankurbeln. Das macht die Menschen unsicher, übertriebene Darstellungen jagen sie in Ängste. Vielmehr sollte endlich über die Dinge so geschrieben werden, wie sie wirklich sind.

In meiner Rede bin ich auf den seltsamen Bürgerkrieg an der Agrarfront in Europa eingegangen: Politiker und Medien haben die verunsicherte Öffentlichkeit in die von BSE ausgehobenen Schützengräben getrieben. Plötzlich sehen alle weiße Creutzfeldt-Jakob-Mäuse an den grünen Wänden unserer Verbraucherwelt, umräuchert vom tierischen Gestank der Scheiterhaufen des 21. Jahrhunderts, der „Verbrennungsanlagen für die Vernichtung von Tieren zur Marktbereinigung“. Aus aktuellem Anlass eines BSE-erkrankten Rindes wurden eintausend Rinder aus Mücheln „gekeult“ – ein besonders vornehmer seuchenpolizeilicher Ausdruck für „gekillt“.

Weder Öffentlichkeit noch Politik noch Wissenschaft haben bislang erfahren, ob und in wie vielen der anderen 999 getöteten Tiere ohne BSE-Symptome die pathogenen Prionen nachweisbar waren. Aus statistischen Angaben anderer Länder hochgerechnet, wird es höchstens ein weiteres Rind sein. Und bei der Maul- und Klauenseuche haben wir noch nicht einmal einen Fall in Deutschland. Auch Normalbürger haben das Recht, ohne Horrormeldungen aufgeklärt zu werden.

Spektrum: *Wie wird nach Ihrer Meinung der deutsche Akademien-Konvent zu Europa stehen, also zu den europäischen Organisationen wie All European Academies (ALLEA)?*

Parthier: Bedarf an Mitarbeit besteht auch im internationalen Bereich, wenn wir unsere Präsenz im europäischen Raum deutlich verbessern wollen. Vielleicht wäre es am besten, wenn in der ALLEA die deutsche Wissenschaft durch den Konvent vertreten würde. Dessen Vertreter müssten die Repräsentanz für Deutschland ausüben. ■

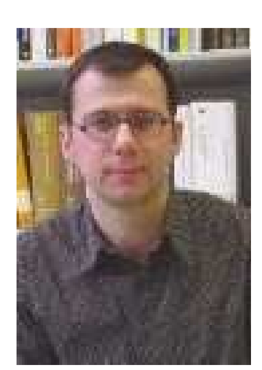
Die Fragen stellte G. Hartmut Altenmüller

GUSTAV-HERTZ-PREIS

Schwingungen statt Strom

Zu den Preisträgern, die auf der diesjährigen Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft ausgezeichnet wurden, gehört Thomas Dekorsy vom Forschungszentrum Rossendorf. Er erhält den Gustav-Hertz-Preis, der jährlich für hervorragende Arbeiten jüngerer Physiker vergeben wird, für seine Forschungen zur Ultrakurzzeitspektroskopie an Halbleitern.

In den modernen Naturwissenschaften ist die Nachfrage nach Methoden groß, mit denen sich die Abläufe von Prozessen, die sich auf extrem kurzen Zeitskalen abspielen, in „Echtzeit“ verfolgen lassen. Beispiele sind die Bewegungen von Elektronen in Halbleitern und Nanostrukturen, die Kinetik chemischer Reaktionen sowie die mit vielen Freiheitsgraden behaftete Dynamik von Biomolekülen. Die Beobachtung solcher Vorgänge erfordert eine zeitliche Auflösung von wenigen Femtosekunden (10^{-15} Sekunden). Dieser so genannte „Ultrakurzzeitbereich“ ist messtechnisch zugänglich, seitdem es Laser gibt, die entsprechend kurze Lichtpulse emittieren.



Thomas Dekorsy

Die Dauer dieser Pulse entspricht nur wenigen optischen Zyklen des elektromagnetischen Feldes. Seit den Anfängen der optischen Spektroskopie im Femtosekunden-Zeitbereich vor wenigen Jahren stehen Halbleiter im Mittelpunkt des Interesses, um die Dynamik der Ladungsträger und deren Wechselwirkung mit Anregungszuständen im Festkörpergitter zu erforschen. Der Physiker Dekorsy hat hierzu während seiner Forschungstätigkeit am Institut für Halbleitertechnik der RWTH Aachen wesentliche Beiträge geliefert.

Als besonders auszeichnungswürdige Leistung gilt seine Beobachtung so genannter Bloch-Oszillationen. Das sind quantenmechanische Schwingungszustände der Ladungsträger im periodischen Kristall des Halbleiters. Aus unserem Alltag sind wir gewohnt, dass in einem Metall oder Halbleiter ein Strom fließt, wenn eine Gleichspannung angelegt wird. In einem idealen Gitter, in dem die Elektronen keinen Störungen ausgesetzt sind, sollte genau das nicht passieren. Vielmehr – so die Voraussage der Theorie – sollten die Elektronen räumliche Schwingungen ausführen, wobei sie elektromagnetische Strahlung aussenden. In Lehrbüchern tauchen Bloch-Oszillationen eher als Kuriosum auf. Doch kann man sie tatsächlich in künstlichen Kristallen realisieren, die durch das alternierende Aufwachsen zweier verschiedener Halbleiter erzeugt wurden. Solche Schichtstrukturen können seit Anfang der neunziger Jahre in hinreichender Qualität hergestellt werden.

Bis Bloch-Oszillatoren, also rein elektrisch getriebene Halbleiterbauelemente mit kontinuierlich abstimmbarer Emissionsfrequenz, realisiert werden können, muss die Grundlagenforschung noch einen weiten Weg gehen.

LOUIS-JEANTET-PREIS FÜR MEDIZIN

Der molekularen Ursache von Krebs auf der Spur

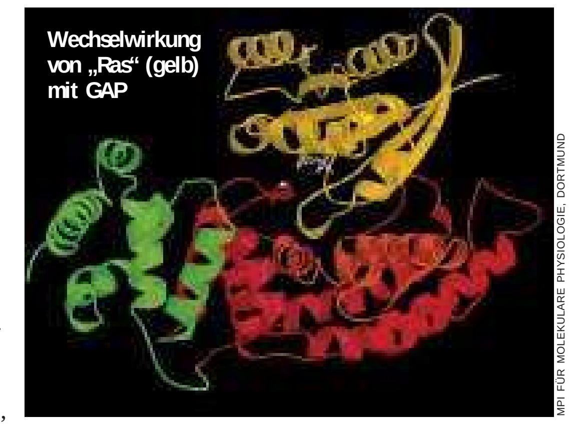
Eines der Proteine, die dazu beitragen, dass sich gesunde Zellen in Krebszellen umwandeln können, ist das Enzym „Ras“. Dieses Molekül übernimmt in der komplizierten Kommunikationskette zwischen den etwa 10^{13} Zellen des menschlichen Körpers die wichtige Rolle eines Schalters: In der Ein-Position sorgt es dafür, dass auf einen gewissen äußeren Reiz hin ein bestimmtes Signal weitergeleitet werden kann, in der Aus-Position unterbricht es die Signaltransduktion. Um in die Ein-Position zu gelangen, bindet das „Ras“-Protein ein Molekül namens GTP; das Signal kann dann durch Wechselwirkung mit anderen Proteinen weitergeleitet werden.

In die Aus-Position schaltet „Ras“, indem es eine Phosphatgruppe abspaltet. Aus dem GTP (Guanosintriphosphat) wird dann GDP (Guanosindiphosphat). In dieser GDP-gebundenen Form ist eine Signalweiterleitung nicht möglich.

Enthält das „Ras“-Protein eine gewisse Mutation, kann es die Phosphatgruppe nicht mehr abspalten. Der Schalter ist somit ständig in Ein-Position, und das Signal wird ununterbrochen weitergeleitet. Dadurch kann zum Beispiel die Zelle kontinuierlich zur Teilung angeregt werden – dieses unregulierte Zellwachstum bedeutet Krebs.

Weil in etwa 30 Prozent aller Tumoren beim Menschen „Ras“-Mutationen zu finden sind, erhoffen sich die Krebsforscher neue Therapieansätze, wenn es gelingt, die Wirkung der Mutationen und die molekularen Mechanismen des Ein-Aus-Schalters im Detail zu verstehen.

Der Biochemiker Alfred Wittinghofer vom Max-Planck-Institut für molekulare Physiologie in Dortmund hat nun mit seiner Arbeitsgruppe die genaue räumliche Struktur des „Ras“-Proteins aufgeklärt und die Wirkung von Mutationen auf dessen Funktion untersucht. Die Arbeiten, für die technische Innovationen in der Analyse von Proteinen erforderlich waren, haben gezeigt, dass „Ras“ alleine ein unvollständiger Schalter ist: Für das Abspalten der Phosphatgruppe ist die Hilfe eines weiteren Proteins, GAP genannt, vonnöten.



Wechselwirkung von „Ras“ (gelb) mit GAP

MPI FÜR MOLEKULARE PHYSIOLOGIE, DORTMUND

Nur mit dessen Unterstützung also kann „Ras“ das GTP zu GDP umwandeln und sich selbst deaktivieren. Wie dies geschieht und warum mutierte „Ras“-Proteine selbst in Gegenwart von GAP nicht in die Aus-Position schalten können, hat die Dortmunder Forschungsgruppe herausgefunden. Damit ist sie den molekularen Ursachen von Krebs ein weiteres Stück auf die Spur gekommen.

Für diesen Fortschritt hat die „Fondation Louis-Jeantet“ in Genf Alfred Wittinghofer einen Teil des diesjährigen Louis-Jeantet-Preises für Medizin zugesprochen. Mit diesem Preis ehrt die Stiftung Wissenschaftler, die hervorragende biomedizinische Forschung in Europa betreiben.

EINLADUNG ZUM ABONNEMENT

Spektrum der Wissenschaft informiert monatlich über den aktuellen Stand von Naturwissenschaften, angewandter Forschung und Technologie. Auf hohem sachlichem Niveau, kompetent und authentisch – denn hier schreiben international renommierte Wissenschaftler selbst über ihre Arbeiten.

NUTZEN SIE DIE VORTEILE DES ABONNEMENTS:

Als Abonnent erhalten Sie Spektrum der Wissenschaft zum Vorzugspreis für monatlich DM 11,85 einschließlich Versand; Schüler und Studenten zahlen nur DM 10,30.

Das Postkartenbuch „Die kleine Astro-Galerie“ schenken wir Ihnen als Dank für Ihr Interesse.

Außerdem haben Sie als Abonnent freien Zugang auf unser Online Archiv. Dort liegen für Sie alle zurückliegenden Ausgaben von Spektrum der Wissenschaft seit 1993 im Volltext bereit.



BEGINNEN SIE IHR ABONNEMENT MIT DER NÄCHSTEN AUSGABE UND SENDEN SIE NEBENSTEHENDE BESTELLKARTE AN UNS AB.

WIR MÖCHTEN AUCH IHRE FREUNDE FÜR UNS GEWINNEN

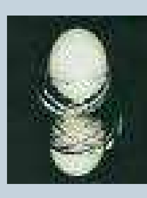
Als Abonnent von Spektrum der Wissenschaft können Sie aus eigener Erfahrung am besten beurteilen, wie wichtig es ist, kompetent, umfassend und authentisch informiert zu sein. Es wird Ihnen daher sicher nicht schwer fallen, unter Ihren Freunden und Bekannten einen neuen Spektrum-Abonnenten zu finden.

Als Dank für Ihre Empfehlung erhalten Sie wahlweise eine der abgebildeten Prämien.



CLACK

Der Eierschalensollbruchstellenverursacher sorgt schon am frühen Morgen für gute Laune. Einfach die Kappe auf Ihr Frühstücksei setzen und die Schlagkugel herunterfallen lassen. Clack! Die Schale erhält eine ringförmige Bruchstelle, an der sich der „Eierkopf“ mit dem Messer abheben lässt. Sie brauchen nur noch die Eier in die beiden von Valett-Design entworfenen Eierbecher stellen und es sich schmecken lassen.





TOURING SET –

der ideale Begleiter für lange Autofahrten. Die Isolierflasche umfasst 0,9 Liter. Die beiden Becher (0,4 Liter) sind passend für Standard-Autohalterungen und haben einen festschließenden Deckel mit Trinköffnung.



ES WAR 1 MAL

Socken haben den Hang, ihre Gegenstücke zu verlieren, und dies entspricht ganz sicher Murphys Gesetz. Dieses Buch stellt auf humorvolle Weise die verborgene mathematische Logik des Alltäglichen vor.

MEDIZIN

Roy Porter

Die Kunst des Heilens

Eine medizinische Geschichte der Menschheit von der Antike bis heute

Aus dem Englischen von Jorunn Wissmann.
Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2000. 818 Seiten, DM 99,90



Wie kaum eine andere wissenschaftliche Disziplin ist die Medizin durch einen ständigen Wandel grundlegender Paradigmata gekennzeichnet. Was gestern noch als unerschütterliches Dogma zum Wohle der Patienten galt – ob diagnostische Verfahren, therapeutische Ansätze oder prognostische Algorithmen –, kann morgen schon obsolet sein. Wenn sich so etwas wie ein roter Faden durch die Geschichte der Schulmedizin zieht, dann die Erkenntnis, dass sich unzählige „bahnbrechende“ Erkenntnisse später als wirkungslos, unsinnig oder sogar gefährlich erwiesen haben.

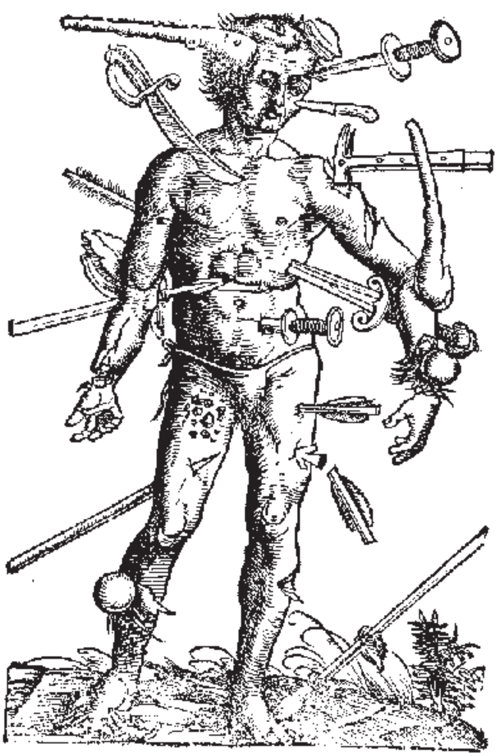
Dies hängt unter anderem damit zusammen, dass Krankheit nicht nur etwas Biologisches ist, sondern stets auch soziale und geistige Komponenten hat. Und da diese sich in Abhängigkeit von Ort und Zeit unterschiedlich entwickelten, nahm auch die Medizin ihren wechselhaften Verlauf.

Doch was treibt die Medizin voran? Wann endet eine neue Methode in der Kunst des Heilens in einer Sackgasse, und wann wird sie zu einer nachhaltigen „Erfolgsstory“?

Roy Porter, ein international renommierter Medizinhistoriker, beantwortet diese Fragen in bester wissenschaftlicher Manier: umfassend und akribisch auf 716 Seiten (plus 62 Seiten Anmerkungen), in 22 Kapiteln, von der Antike bis zur Gegenwart. Der Professor für Medizingeschichte am Wellcome Institute for History of Medicine in London geht von der Überzeugung aus, dass die „Bocksprünge“ der medizinischen Wissenschaft nur in ihrem zeitlichen und örtlichen Kontext zu verstehen sind.

„Unsere Kunst umfasst dreierlei“, schrieb Hippokrates, der legendäre griechische Arzt, „die Krankheit, den Kranken und den Arzt“. Diese Vorgabe hat Porter aufgegriffen und sich aus der Perspektive des Historikers den wechselseitigen Beziehungen von Krankheit, Patient und Arzt in den vergangenen 5000 Jahren gewidmet. Im Mittelpunkt des Buches stehen das medizinische Denken und die medizinische Praxis der jeweiligen Epoche; Auswirkungen von Infektionskrankheiten auf die Geschichte der Menschheit werden nur am Rande erwähnt.

Bemerkenswert ist die globale Betrachtungsweise Porters. So finden sich Kapitel über die ersten dokumentierten Heilpraktiken in Mesopotamien und in Südamerika, über chinesische und indische Medizin, über mittelalterliche Medizin ebenbürtig neben der Darstellung öffentlicher Gesundheitssysteme im Europa der industriellen Revolution und der Fortschritte in der Erforschung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten im ausgehenden 19. und beginnenden 20. Jahrhundert – Entwicklungen, die auf strikt naturwissenschaftlichem Denken beruhten.



Der „Wundenmann“ zeigt die zahlreichen Verletzungen, die zu heilen ein Chirurg imstande sein sollte. Aus dem „Feldtbuch der Wundartzney“ von Hans von Gersdorf (Straßburg 1530).

Am Kapitel „Tropenmedizin und weltweite Krankheiten“ lässt sich exemplarisch aufzeigen, wie differenziert Porter die Medizin der jeweiligen Zeit betrachtet und wie er es geschickt versteht, immer wieder neu den Bogen zu den Gesundheitsproblemen von heute zu spannen. Im Zeitalter des Imperialismus gewann die Tropenmedizin wie kein anderes Teilgebiet im Eiltempo an Bedeutung, weil die Kolonialmächte besseren medizinischen Schutz für ihre Militärs, Kaufleute und Beamten wollten; nur so konnten sie immer größere Gebiete und Ethnien unter ihre Kontrolle bringen. Kein Wunder, dass Joseph Chamberlain, damals Kolonialminister von Großbritannien, die „Bekämpfung von Tropenkrankheiten als integralen Bestandteil des Imperialismus“ sah.

Andererseits wurden diverse Krankheiten erst durch Eingriffe der Kolonialherren zu kontinentalen Seuchen. Ob Schlafkrankheit oder Bilharziose, ob Malaria oder Filariosen: Militärische Operationen und Flüchtlingstrecks, Rodungen und Straßenbau, Landwirtschaft und Handel brachten ein Jahrhunderte altes Gleichgewicht durcheinander und machten aus lokalisierten Krankheitsherden letztendlich Endemiegebiete. Später machte auch die Tropenmedizin „ihren“ Paradigmenwechsel durch. Sie versteht sich heute eher als Disziplin der internationalen Gesundheit denn als Fachbereich für exotische Krankheiten. Es ist beeindruckend, wie Porter diese Entwicklung bis in die jüngste Gegenwart nachzeichnet.

Im Mittelpunkt des Buches steht aber, und das weiß Porter zu begründen, die so genannte „westliche Medizin“. Nur sie hat kompromisslos klare Ansätze entwickelt, um die Funktionen des menschlichen Körpers bei Gesundheit und Krankheit zu erforschen. Dass hier gleichwohl Irrwege fast so häufig beschritten wurden wie der Pfad der richtigen Erkenntnis, zeigt der Autor an Dutzenden von Beispielen.

Eine ähnlich umfassende Darstellung der Geschichte der Medizin hat es bislang noch nicht gegeben. Porters Buch hat das Zeug zu einem Klassiker. Der Leser muss sich allerdings auf eine lange literarische Reise gefasst machen. In einem Zug lässt sich das Mammutwerk nicht „verdauen“.

Hermann Feldmeier

Der Rezensent ist Arzt für Mikrobiologie und Infektionsepidemiologie und Professor für Tropenmedizin an der Freien Universität Berlin.

Gisela Graichen

Humboldts Erben

Expeditionen zu den Grenzen des Wissens

Lübbe, Bergisch Gladbach 2000. 256 Seiten, DM 49,80



In diesem Jahr verteilt die Deutsche Forschungsgemeinschaft wieder mehr als zwei Milliarden Mark, und in ganz Deutschland wird es vielleicht 20000 Forschern gelingen, sich ein Stück vom größten aller deutschen Drittmittelkuchen zu sichern. Zwei Milliarden Mark, das sind für jeden Steuerzahler kaum 60 Mark im Jahr. Aber auch diese Ausgabe will gerechtfertigt werden. Wieso erforscht da jemand die Gesundbeter und Scharlatane in Ecuador, wem nützen Neutrinos im fernen Baikalsee und wem seltsame Bakterien im Hochland von Chile?

Dass die Wissenschaft ihre Erkenntnisse von sich aus der Öffentlichkeit nahe bringen muss – die Sache mit der Bringschuld –, ist eine Erkenntnis, die sich, spät, aber immerhin, auch in Deutschland durchsetzt. Die DFG will zeigen, wen sie mit ihrem Geld fördert und was dabei herauskommt.

Da ihr die geeigneten Vermittlungskanäle fehlen, tat sie sich mit dem ZDF zusammen – und produzierte eine der besten Fernsehdokumentationen der vergangenen Jahre: „Humboldts Erben“. Hier berichteten nicht Journalisten über die Arbeit von Forschern, sondern die Forscher selbst. Hier war zu sehen, wie sehr sich die Erfolgreichen unter den Forschern den Spieltrieb ihrer Kindheit bewahrt haben. Was dieser Spieltrieb gepaart mit Wissensdurst und Abenteuerlust hervorbringt, ist spannender und unterhaltsamer anzusehen als jede sorgfältig arrangierte Sendung.

Auch das vorliegende Begleitbuch zur Fernsehserie vermittelt etwas von dem überraschenden, abenteuerlichen Charakter der Forschung, kompetent aufbereitet von erfahrenen Schreibern und Forschern. Aus augenscheinlich Unspektakulärem werden unversehens aufregende Geschichten, zum Beispiel, wie Biologen im „Tal der Hundertjährigen“ – einer unzugänglichen Urwaldregion in Ecuador – nach dem Geheimnis traditioneller Medizin suchen und wie ihnen dabei ein steinreicher Amerikaner hilft. Vielleicht sind in den zigtausenden bisher noch völlig unbekannten Tier- und Pflanzenarten ja die Wirkstoffe für die Medizin von morgen verborgen. Sie könnten nicht nur ▶





Mit einer selbstkonstruierten Polyurethanschaumschlange (links) fangen die Bodenkunde-Experten im Bergwald von Süd-Ecuador das Wasser auf, das an der Rinde der Bäume zu Boden fließt. Giftige Gase am Vulkan Irruputunco in Chile (rechts) vereiteln die geplante Suche nach Archaebakterien (Archaeen).

dem Menschen dienlich sein, sondern auch das Überleben der tropischen Regenwälder sichern.

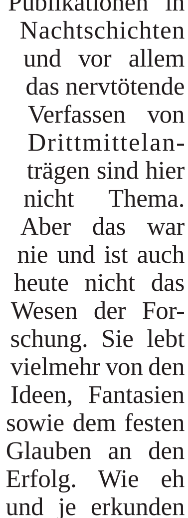
Wie im August 1957 Archäologen der Universität von Peking eine spektakuläre Entdeckung machten – das klingt nach einem schlechten Roman, ist aber eine wahre Geschichte: Anhand einer über 800 Jahre alten Schrift stießen die Forscher in jenem Sommer auf die Bibliothek von Yunjusi. Tausende von buddhistischen Mönchen hatten in über 500 Jahren rund 30 Millionen Schriftzeichen in mehr als 10000 steinerne Schriftplatten gemeißelt und damit das damalige Wissen der Welt für die Ewigkeit aufbewahrt. Im Taxi durch das Pekinger Stadtchaos erklärt der Heidelberger Professor Lothar Ledderose, dass diese Bibliothek so lange erhalten blieb, weil sie keinem Feuer zum Opfer fallen konnte und schlichtweg zu schwer war, um geraubt und verschleppt zu werden.

Einige tausend Kilometer nordwestlich von Yunjusi taucht ein Photomultiplier in den ältesten und tiefsten See der Erde: den Baikal-See. Ausgerechnet hier will die bunt gewürfelte Forschertruppe aus deutschen und russischen Physikern die Geheimnisse des Kosmos ergründen, indem sie nach Neutrinos fahndet, den kaum zu findenden Boten aus dem All. Eingefrorene Maschinen, eine groteske Bürokratie und zahlreiche andere Hindernisse sind zu überwinden; viel Wodka und noch mehr Geduld sind die Grundlage des Erfolgs, der sich nach jahrelangem Warten mit der zweifelsfreien Identifikation des ersten durch einen Unterwasser-Detektor nachgewiesenen Neutrinos einstellte.

Natürlich ist das Buch eine einseitige Darstellung des Forscheralltags. Nur wenige werden darin ihr Tagwerk wiederfinden: Mühsames Datenauswerten, das Schreiben von Publikationen in Nachtschichten und vor allem das nervtötende Verfassen von Drittmittelanträgen sind hier nicht Thema. Aber das war nie und ist auch heute nicht das Wesen der Forschung. Sie lebt vielmehr von den Ideen, Fantasien sowie dem festen Glauben an den Erfolg. Wie eh und je erkunden auch heute die Forscher mit Gummistiefeln, Probenfläschchen und einer ordentlichen Portion Glück die Wurzeln des Lebens, das Wissen unserer Vorfahren oder die Anfänge des Universums. Mitreißend beschreibt das Buch die Vielfalt der Disziplinen und ihrer Protagonisten. Es ist ein Plädoyer für die Forschung, die den Leser kaum mehr kostet als dieses Buch.

Joachim Schüring

Der Rezensent ist promovierter Geologe und Redakteur bei wissenschaft-online.





Dieses prunkvolle Kästchen aus dem Schatz von Famensi (China) barg einen Fingerknochen Buddhas.

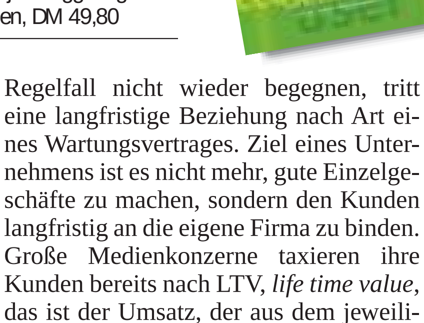
GESELLSCHAFT

Jeremy Rifkin

Access

Das Verschwinden des Eigentums
Warum wir weniger besitzen und mehr ausgeben werden

Aus dem Englischen von Klaus Binder und Tatjana Eggeling.
Campus, Frankfurt am Main 2000. 424 Seiten, DM 49,80





Car-sharing kommt zunehmend in Mode. Privatleute geben den belastenden Besitz eines Autos auf und ziehen es vor, bei Bedarf auf unkomplizierte Weise eins zu mieten. Unternehmen trennen sich von Grund- und Anlagenbesitz und leasen ihre Produktionsmittel, um flexibler auf die immer heftigeren Schwankungen des Marktes reagieren zu können. Software und Rechnerleistung werden nicht mehr gekauft, sondern bei Bedarf gegen Gebühr über das Internet abgerufen. Das Gleiche gilt für Musik-CDs, Spielfilme und überhaupt Kunstwerke aller Art. Die Amerikaner wohnen zunehmend zur Miete, weil der Erwerb eines eigenen Hauses nicht mehr lohnt; zu kurz ist die Zeit geworden, die man beruflich an einem Ort zu verbringen pflegt.

Jeremy Rifkin, Gründer und Vorsitzender der Foundation on Economic Trends in Washington, hat es zu seinem Beruf gemacht, diese Einzelerscheinungen und einige mehr – die zu einem wesentlichen Teil noch Zukunftsmusik sind – in ein Gesamtbild zu fügen: Bislang war Eigentum, nicht nur an Produktionsmitteln, sondern auch an langlebigen Konsumgütern, das Ziel aller wirtschaftlichen Tätigkeit. Durch den rasanten technischen Fortschritt – vor allem das Internet, was sonst? – verliert es zunehmend seine zentrale Bedeutung. Was die wirtschaftlich Bedeutenden von den Unbedeutenden trennt, ist nicht mehr der Besitz irgendwelcher Sachwerte, sondern der *access*, der Zugang zu den häppchenweis zu vergebenden immateriellen Gütern: Internetanschluss, Kreditkartenvertrag, Servicevertrag für den Computer, Mitgliedschaft in einem Videoclub, Abonnement fürs Bezahlfernsehen.

An die Stelle des Kaufes, einer kurzen Transaktion, deren Beteiligte sich im Regelfall nicht wieder begegnen, tritt eine langfristige Beziehung nach Art eines Wartungsvertrages. Ziel eines Unternehmens ist es nicht mehr, gute Einzelgeschäfte zu machen, sondern den Kunden langfristig an die eigene Firma zu binden. Große Medienkonzerne taxieren ihre Kunden bereits nach LTV, *life time value*, das ist der Umsatz, der aus dem jeweiligen Kunden während seiner Restlebenszeit noch herauszuholen ist.

Auf der anderen Seite setzen sich die Leute andere Lebensziele. Es geht nicht mehr darum, Besitz anzuhäufen (und insbesondere anderen dessen Nutzung zu verwehren), sondern von den reichlich angebotenen Mietgütern – Reisen, Fußballspiele, kulturelle Ereignisse aller Art – den vorteilhaftesten Gebrauch zu machen: Nicht haste was, sondern erlebste was, dann biste was. Persönliche Beziehungen werden zahlreicher, weniger intensiv und vor allen Dingen über das Netz vermittelt. Die kommerzielle Sphäre verleibt sich die kulturelle und die persönliche mit ein.

Erlebste was, dann biste was

Rifkin versucht seine Botschaft durch zahlreiche Wiederholungen und Zitate eindringlich zu machen (die Lektüre der deutschen Fassung ermüdet zusätzlich wegen der zahlreichen Anglizismen); aber er bleibt gegenüber seinen eigenen Prophezeiungen merkwürdig indifferent. Dabei hat er durchaus Horrorgeschichten zu erzählen. So versuchen zur Zeit große Nahrungsmittelkonzerne, Saatgut von einer käuflichen Ware zu einer bei jeder Nutzung erneut zu bezahlenden Dienstleistung zu machen, und verleihen dieser Geschäftspolitik mit Hilfe der Gentech-

nik Nachdruck: Sie bauen in ihre Produkte ein unfruchtbar machendes Gen ein, dessen Wirkung nur durch Besprühen mit einer bestimmten Chemikalie aufgehoben wird. Wenn sich diese Technik durchsetzt, wird sie zweifellos, wie Rifkin schreibt, Millionen Bauern auf der ganzen Welt in ihrer Existenz bedrohen.

Auch bei jeder medizinischen Nutzung der Gentechnik wird eine Firma, die ein Patent auf das entsprechende Gen hat, die Hand aufhalten, und wenn diese Gentherapie mein Leben zu retten verspricht, habe ich wenig Möglichkeiten, durch Drohung mit Konsumverzicht den Preis zu drücken.

Je genauer man sich jedoch Rifkins Szenario anschaut, desto weniger überzeugend sieht es aus. Das „Verschwinden des Eigentums“ ist in Wirklichkeit eine Verschiebung des Eigentums, und zwar ganz marxistisch vom Einzelnen in die Hände anonymer Großkonzerne; denn nur wer – geistiges – Eigentum besitzt, kann es in kleinen Brocken gebührenpflichtig unters Volk streuen. Dass eine gesellschaftliche Trennlinie nicht mehr zwischen den Besitzenden und den Habenichtsen, sondern zwischen denen mit *access* und denen ohne verlaufen werde, das kann ja sein, ist aber belanglos, denn beide Trennlinien verlaufen ziemlich genau gleich. Wer nicht weiß, wie er seine Ernährung bezahlen soll, den kümmert es wenig, dass er zu Miet-Erlebnissen aller Art auch keinen Zugang hat.

Die wirklich üblen Folgen, die Rifkin an die Wand malt, sind nur denkbar unter den Bedingungen eines sehr monopolistischen Kapitalismus. Wie käme ich freiwillig und bei klarem Verstande dazu, mich auf einen lebenslänglichen Wartungs- und Betreuungsvertrag mit meinem Internet-Provider, meiner Bank, meinem Musikgeschäft, meinem Vermieter oder einer Firma, die alles zugleich ist, einzulassen? Wozu der vorzeitige Einzug ins virtuelle Seniorenheim, wenn es auch anders geht? Die Konzentrationstendenz in der Medien- und Softwarebranche ist unübersehbar, und Rifkin ist in ihrer Darstellung sehr aktuell; aber dass es *Big Business* gelingt, sämtliche CD-Hersteller, die Linux-Gemeinde, jede Menge Shareware-Produzenten und alle traditionellen Saatguthersteller von der Erde zu vertilgen – das übersteigt dann doch meine Vorstellungskraft. Immerhin gibt es ein technisch neues Medium, das seiner Natur nach stark antimonopolistisch ist: das Internet, was sonst.

Christoph Pöppe

Der Rezensent ist Redakteur bei Spektrum der Wissenschaft.

PREISRÄTSEL

Tour de Trance

von Natalie van Eijk

Viel ist es nicht, was Reporter Ralf Radlos vom Zieleinlauf der Tour de Trance im Gedächtnis hängen blieb:

➤ Die Fahrer haben die Vornamen Anna, Berta, Christa, Dirk und Emil.
➤ Die Nachnamen sind Hungerast, Platten, Krampf, Sturz und Achter.
➤ Die Farben ihrer Trikots waren gelb, rot, blau, weiß und schwarz.
➤ Dirk trug ein blaues Trikot.
➤ Die Nachnamen der Herren haben sechs Buchstaben.
➤ Sturz lief direkt vor Hungerast ein.
➤ Der Träger des roten Trikots rollte direkt nach dem des gelben ins Ziel.
➤ Der Träger des schwarzen Trikots kam direkt nach Berta ins Ziel.
➤ Achter trug ein blaues Trikot.
➤ Christa kam nach Emil ins Ziel.
➤ Die Herren sind Dritter und Fünfter.

Wie heißen die Fahrer, welche Trikots trugen sie, und in welcher Reihenfolge rollten sie über die Ziellinie?

Schicken Sie Ihre Lösung in einem frankierten Brief oder auf einer Postkarte an Spektrum der Wissenschaft, Leserservice, Postfach 104840, D-69038 Heidelberg.

Unter den Einsendern der richtigen Lösung verlosen wir sechs Lineale „Desk Man“. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen. Es werden alle Lösungen berücksichtigt, die bis Dienstag, 17. Juli 2001, eingehen.

Lösung zu „Falsch beschriftet“ (Mai 2001)

Man nimmt aus Schachtel A neun Kugeln, aus Schachtel B drei Kugeln und aus Schachtel C eine Kugel. Diese bilden das erste Häufchen, die verbleibenden (je vier Kugeln aus A und B sowie acht aus C) das andere.

Beide Häufchen sind gleich schwer, einerlei, wie die Kugeln falsch sortiert sind. Warum?

Die Mathematik-AG des Gymnasiums Gammertingen stellte zunächst fest, dass von allen sechs Möglichkeiten, drei Sorten Kugeln auf drei Kästchen zu verteilen, nur zwei in Frage kommen, bei denen keine Sorte im richtigen Kästchen einsortiert ist:

➤ Entweder in A die 2-Gramm-Kugeln, in B die 3-Gramm-Kugeln und in C die 1-Gramm-Kugeln, was folgendes Gesamtgewicht ergibt:

$13 \cdot 2\,g + 7 \cdot 3\,g + 9 \cdot 1\,g = 56\,g$

➤ Oder in A die 3-Gramm-Kugeln, in B die 1-Gramm-Kugeln und in C die 2-Gramm-Kugeln. Das Gesamtgewicht beträgt dann

$13 \cdot 3\,g + 7 \cdot 1\,g + 9 \cdot 2\,g = 64\,g.$

Es sollen nun a Kugeln aus Schachtel A, b Stück aus B und c Stück aus C entnommen werden, sodass sich in beiden Fällen die Hälfte des Gesamtgewichts ergibt. Für den ersten bzw. den zweiten Fall muss also gelten

(1) $3a + b + 2c = 32$
(2) $2a + 3b + c = 28$

(die Maßeinheit Gramm weggelassen). Mit üblichen Techniken (zweimal Gleichung (2) von (1) subtrahieren und auflösen) findet man zunächst $a = 24 - 5b$ und durch Einsetzen in (2) die Beziehung

$$b=(20+c)/7$$

Da die Unbekannten b und c natürliche Zahlen sind und $c \leq 9$ sein muss, kommen für c nur 1 und 8 in Frage. Daraus ergibt sich $b=3$, $a=9$ bzw. $b=4$, $a=4$.

Die Gewinner der zehn Puzzles „Eruption“ sind Johann Brandt, Horn-Bad Meinberg; Otto Kuropatwa, Schweinfurt; Marietta Struzek, Ibbenbüren; die Mathematik-AG des Gymnasiums Gammertingen; Susanne Borzechowski, Berlin; Wolfgang Alb, Berlin; W. Frank, Köln; Anke Lensges, Aachen; Lutz Rutemöller, Langen; und Florian Ziemann, München.

In der im Juniheft angegebenen Lösung zu „Fair Play“ (April 2001) muss im dritten Graph links oben z statt w stehen. Bernd Rümmler aus Göttingen hat uns auf den Fehler hingewiesen.

Lust auf noch mehr Rätsel? Unser Wissenschaftsportal wissenschaft-online (www.wissenschaft-online.de) bietet Ihnen unter dem Fachgebiet „Mathematik“ jeden Monat eine neue mathematische Knobelei.

PSYCHIATRIE

Heinz Häfner

Das Rätsel Schizophrenie

Eine Krankheit wird entschlüsselt

C. H. Beck, München 2000. 415 Seiten, DM 44,–

Heinz Häfner, emeritierter Professor für Psychiatrie an der Universität Heidelberg, ist einer der erfahrensten Schizophrenieforscher in Deutschland. Er leitete die Arbeitsgruppe „Schizophrenie-Forschung" am Mannheimer Zentralinstitut für Seelische Gesundheit und fand mit seiner Arbeit weltweit Anerkennung.

Häfner berichtet aus seinem Erfahrungsschatz über „das Rätsel Schizophrenie", und sein Bemühen, „das gegenwärtige Wissen möglichst umfassend und gleichwohl verständlich aufzubereiten", ist ihm in hervorragender Weise gelungen. In 18 Kapiteln, denen jeweils eine überschaubare Zahl weiterführender Literaturhinweise zugeordnet sind, behandelt er eine Fülle von Aspekten dieser zwar relativ seltenen, aber im Hinblick auf die Schwere der Beeinträchtigung außerordentlich bedeutsamen Erkrankung: Auf einer Skala, welche die Einschränkung an Lebensqualität durch Erkrankungen zu erfassen sucht, steht sie hinter der Depression, dem Alkoholismus und den Folgezuständen nach Verkehrsunfällen an vierter Stelle.

Häfners Darstellung beginnt mit einer Geschichte der Schizophrenie, leitet über zum Erleben und Verhalten in der Krankheit, betont die Bedeutung von Risikofaktoren und frühen Zeichen der Krankheit, beschreibt den Verlauf der Erkrankung, ihr Stigma in der Öffentlichkeit, die Begleit- und Folgeerkrankungen und erörtert ausführlich die Ursachen und Risikofaktoren sowie die wesentlichen Aspekte von Vorbeugung, Behandlung und Rehabilitation. Auch den Kosten der Krankheit, dem Fragenkomplex „Schizophrenie und Gewalttätigkeit" sowie der Kunst Schizophrener widmet er jeweils ein eigenes Kapitel.

Heinz Häfner möchte – so die Einleitung – den Menschen, „die an einer der vielen Formen der unter dem traditionellen Namen Schizophrenie zusammengefassten psychischen Störungsmuster leiden", Wissen vermitteln und damit „Zugang zu bewusster Behandlungspartnerschaft" eröffnen. Ich denke, die meisten Menschen dieses Personenkreises wird das Buch überfordern. Aber ich würde es sehr begrüßen, wenn dieses Buch eine Standardlektüre für Psychiater und Psychologen, Ärzte und Therapeuten und gegebenenfalls auch für einige Angehörige und sonstige Helfer werden würde. Denn in einer Zeit, in der die einfachen Modelle und die entsprechenden Lösungen hohe Konjunktur haben, ist dieses Buch eine ebenso schwierige wie wohltuende Lektüre. Hier ist nicht der große Vereinfacher am Werk. Vielmehr mutet Häfner dem Leser zu, Widersprüche und Unklarheiten auszuhalten, und regt ihn an, sich um ein differenziertes Verständnis dieser trotz unendlich vieler Forschungsergebnisse letztlich immer noch rätselhaften Erkrankung zu bemühen.

Häfners Buch ist keines, das man von Seite 1 bis Seite 408 liest und dann zufrieden in den Bücherschrank stellt. Vielmehr wird man es zumindest auch als Nachschlagewerk benutzen, wenn man mit dem einen oder anderen Aspekt dieser Krankheit besonders befasst ist. Insofern kommt dem Sachregister große Bedeutung zu, dessen Ausarbeitung ich mir für eine der folgenden Auflagen noch etwas präziser und detaillierter wünschen würde. Zudem schiene mir ein fester Einband für dieses Buch, das ich sicher häufiger in die Hand nehmen werde, kein übertriebener Aufwand.

Wilhelm Rotthaus

Der Rezensent ist ärztlicher Leiter des Fachbereichs Psychiatrie und Psychotherapie des Kindes- und Jugendalters der Rheinischen Kliniken Viersen.

GEOMETRIE

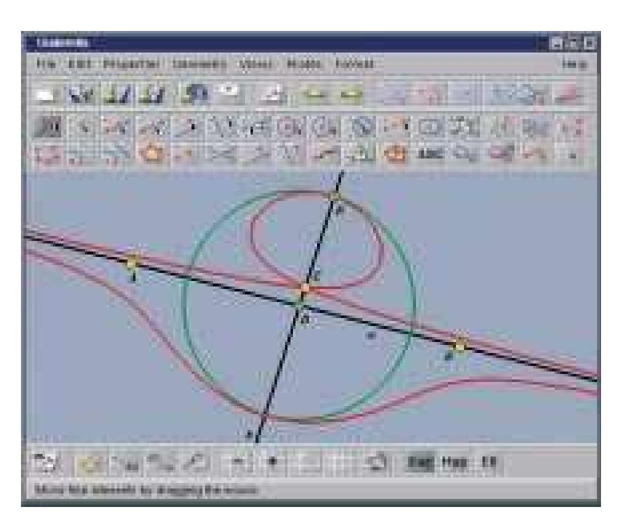
Jürgen Richter-Gebert und Ulrich H. Kortenkamp

Cinderella

Die interaktive Geometrie-Software

CD-Rom für Windows und Macintosh, mit Handbuch. Springer, Berlin 2001. DM 98,60

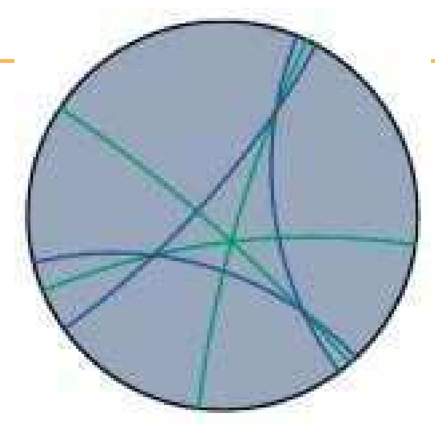
Der Name hat mit dem Produkt eigentlich nichts zu tun. Nur weil Jürgen Richter-Gebert und Ulrich H. Kortenkamp, damals an der Technischen Universität Berlin, in einer entscheidenden Projektphase eine Fahrt auf einem Schiff namens „Cinderella" gemacht hatten, blieb der Name an der Software haften. Cinderella ist ein Programm, mit dem man umfangreiche geometrische Konstruktionen erstellen, bearbeiten und dynamischen Veränderungen unterziehen kann.



Die Benutzeroberfläche von Cinderella

Dem großen Funktionsumfang zum Trotz ist Cinderella kinderleicht zu bedienen. Mit wenigen Mausklicks kann man auf einer sehr anschaulichen und übersichtlichen Benutzeroberfläche Punkte, Geraden, Kreise, Polygone und vieles mehr erzeugen und nach Belieben verschieben. Man kann Längen, Winkel und Flächen messen und die Elemente der Zeichnung farblich gestalten und individuell beschriften. Auch komplexe Zeichnungen bleiben so übersichtlich und anschaulich. Ungenauigkeiten gibt es nicht mehr, nachträgliche Änderungen einer Konstruktion sind jederzeit möglich, ohne dass die eingegebenen Zusammenhänge zwischen den konstruierten Objekten verloren gehen. So wandert der Schnittpunkt zweier Geraden – und alles, was mit seiner Hilfe konstruiert wurde – mit, wenn der Benutzer eine der Geraden bewegt.

Diese Funktionen bieten auch lange erprobte Programme wie Cabri Géomètre oder



Hyperbolische Geometrie: Die Höhen im Dreieck schneiden sich in einem Punkt.

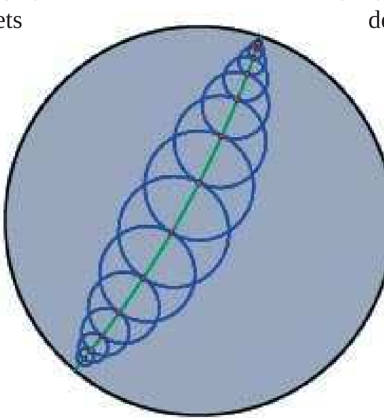
Euklid. Aber Cinderella geht weit darüber hinaus. Neben der üblichen Geometrie beherrscht das Programm auch nicht-euklidische Geometrien. Wie im 19. Jahrhundert herausgearbeitet wurde, ergeben sich widerspruchsfreie Theorien, wenn man an die Stelle des klassischen Parallelenaxioms („Zu einer Geraden gibt es durch einen Punkt außerhalb dieser Geraden genau eine Parallele") dessen Verneinungen setzt: Aus „keine Parallele" wird die elliptische Geometrie, aus „mehr als eine Parallele" die hyperbolische. Cinderella macht diese Geometrien auch für Nicht-Mathematiker erfahrbar und anschaulich: Man konstruiere in der hyperbolischen Geometrie Parallelen oder Kreise mit gleichem Radius (Bild rechts)!

Verwirrend ist dabei zunächst die Unterscheidung zwischen „Geometrie" und „Ansicht". So lassen sich euklidische Konstruktionen auch – in der „sphärischen Ansicht" – in der Projektion auf eine Kugel betrachten, während die hyperbolische Ansicht nur im Zusammenhang mit der hyperbolischen Geometrie brauchbar ist und umgekehrt.

Das beigefügte Handbuch liefert hier genügend Gebrauchsinformationen und darüber hinaus einige Ergänzungen und Literaturhinweise für diejenigen, die sich weitergehend mit nicht-euklidischer Geometrie beschäftigen wollen. Überhaupt ist das Handbuch gut lesbar und führt anhand von Beispielen sehr schnell in die wesentlichen Funktionen des Programms ein. Die Kapitel, die sich mit der Mathematik beschäftigen, die hinter Cinderella steckt, kann man getrost überspringen, wenn man lediglich Zeichnungen erstellen will.

Das Programm ist in der plattformunabhängigen Programmiersprache Java geschrieben und läuft daher auch unter Linux. Außerdem eröffnet sich dadurch die Möglichkeit, schnell und einfach interaktive Web-Seiten, Animationen oder Übungsaufgaben zu erstellen. Cinderella kann eine einmal angefertigte Konstruktion in eine HTML-Datei übersetzen, die mit jedem Internet-Browser gelesen werden kann, auch ohne dass der Empfänger über das komplette Cinderella-Programm verfügt. Ein Lehrer kann Übungsaufgaben für Schüler und Studenten mit Lösungshilfen versehen und ihnen so eine direkte Erfolgskontrolle verschaffen; er kann die Werkzeuge vorgeben, die für die Konstruktion zur Verfügung stehen. Beispiele finden sich auf der Cinderella-Homepage www.cinderella.de. Allerdings dauert es je nach System am Anfang etwas länger, bis die Java-Applets geladen sind, und die Meldungen des Systems geben kaum Auskunft über den Fortschritt des Ladevorgangs.

Cinderella bietet noch etwas mehr als geometrische Konstruktionen, und zwar „Beweise", etwa für den aus der Schulgeometrie bekannten Satz, dass sich die Höhen eines Dreiecks in einem Punkt schneiden. Cinderella überprüft an zahlreichen zufällig ausgewählten Beispielen, ob ein vermuteter Zusammenhang bestätigt wird. Das ist natürlich kein Beweis im klassischen Sinne, noch bringt eine solche Überprüfung tiefere Einsichten; aber zumindest liefert dieses Verfahren einen begründeten Anfangsverdacht, dem es nachzugehen lohnt.



Hyperbolische Geometrie: Kreise gleichen Durchmessers

Bei so vielen Vorzügen bleiben unvermeidlich Wünsche offen. Es fehlt die Möglichkeit, Berechnungen mit Größen durchzuführen, die in einer Konstruktion ausgemessen wurden, um so auch quantitative Zusammenhänge dynamisch zu überprüfen. Auch lassen sich mehrere Konstruktionsschritte nicht zu einem Baustein (Makro) zusammenfassen, auf den man immer wieder zurückkommen könnte. An manchen Stellen ist der Wechsel zwischen den einzelnen Menüpunkten umständlich.

Aber insgesamt ist das Programm dazu geeignet, Interesse und Spaß an der Geometrie zu wecken, und zwar auf Schul- wie Hochschulniveau. Es gibt Cinderella auch in einer Schulfassung (herausgegeben von Heureka-Klett), das neben dem vollständigen Programm eine vereinfachte, auf den Stoff der Schulgeometrie reduzierte Version sowie eine Sammlung interaktiver Übungsaufgaben enthält.

Bettina Wiercioch

Die Rezensentin ist Diplom-Physikerin und Lehrerin für Mathematik und Physik am Carl-Friedrich-Gauß-Gymnasium in Gelsenkirchen.

MEDIZINETHIK

Edgar Dahl

Xenotransplantation

Tiere als Organspender für Menschen?

Hirzel, Stuttgart 2000. 197 Seiten, DM 36,–

Xenotransplantation, die Verpflanzung lebender tierischer Zellen, Gewebe und Organe in den Menschen, ist derzeit ein hochaktueller Forschungsbereich. Sinn und Zweck wird darin gesehen, eines Tages eine ausreichende Menge an Geweben und Organen zur Transplantation auf den Menschen zur Verfügung zu stellen (Spektrum der Wissenschaft 9/1997, S. 70). Da macht der Titel neugierig; schließlich scheint es sich um die erste deutschsprachige Monografie zu handeln, die ganz der Xenotransplantation gewidmet ist.

Edgar Dahl, studierter Philosoph, Anthropologe und Ethnologe sowie Autor verschiedener Bücher, konzentriert sich ganz auf die Frage, ob es legitim ist, Schweine zum Zwecke der Organentnahme zu töten. Gemäß einem engen Verständnis von „angewandter" Ethik geht er systematisch vor: Er stellt acht prominente Ethiken in gut verständlicher Weise dar, und zwar zwei religiöse, die christliche und die buddhistische, und sechs säkulare philosophische: die Moralphilosophien von René Descartes und von Immanuel Kant, die Mitleidsethik Arthur Schopenhauers, die Ethik der „Ehrfurcht vor dem Leben" nach Albert Schweitzer, die präferenzutilitaristische Theorie von Peter Singer und Tom Regans Ethik der Tierrechte. ▶

Im Schweinsgalopp durch die Tierethik

Im Zentrum der etwa zehnseitigen Beschreibungen steht die Argumentation der jeweiligen Ethik, wie der Mensch mit Tieren umzugehen habe. Daraus erschließt der Autor in sehr wenigen Sätzen, wie ein Vertreter dieser Ethik die Tötung von Tieren für die Xenotransplantation bewerten würde, und kommt zu dem Ergebnis, dass alle dargestellten Theorien sie mehr oder minder stringent gutheißen müssen. Keine von ihnen vertritt nämlich die vollkommene moralische Gleichstellung von Mensch und Tier. Diese wäre jedoch nach Dahl die einzige legitime Ablehnungsbegründung.

Im Wesentlichen bietet das Buch einen leicht lesbaren, fast salopp geschriebenen Einstieg in wichtige Positionen der Tierethik. Moralphilosophische Details und weiterführende Literaturhinweise finden sich in den Anmerkungen – am Ende des Buches, was zu umständlichem Blättern zwingt, aber immerhin.

Hinter dem Anspruch des Titels bleibt das Buch allerdings weit zurück. Die Xenotransplantation wirft weit mehr ethische Probleme auf als das der Tiertötung. Die aktuelle Forschung wird in einer fünfzehnseitigen Einführung ins Thema nur schlaglichtartig erhellt. Viele kritische Aspekte werden nur kurz angesprochen oder gar vollständig ausgeblendet. Es scheint für Dahl festzustehen, dass die Xenotransplantation eines Tages funktionieren und ausreichend viele Organe zur Verfügung stellen wird. Angesichts der derzeitigen Forschungslage ist das kaum mehr als ein Gedankenspiel. Es bestehen zumindest drei elementare biomedizinische Hürden, die es noch zu überwinden gilt: die verschiedenen Stufen der immunologischen Abstoßung, die physiologisch-anatomische Kompatibilität und die mögliche Übertragung bekannter und unbekannter tierischer Erreger.

Die in den letzten Jahren angewachsene moralphilosophisch-rechtliche Debatte wird kaum thematisiert. Nicht einmal in einem knappen Ausblick verweist der Autor auf die zahlreichen bioethischen Fragen, die derzeit zur Diskussion stehen: Welche Rolle spielen die Patienten bei der Erprobung der Methode? Nach welchen Kriterien werden den Patienten auf der Warteliste Organe zugewiesen? Wer bekommt das Menschenherz, wer muss sich mit dem Schweineherz begnügen? Wer trägt die Verantwortung für das Risiko, dass das transplantierte Organ Infektionen auf den Organempfänger oder gar auf weite Teile der Bevölkerung überträgt, und was ist die moralisch richtige Weise, mit diesem Risiko umzugehen? Wie wirkt sich die Verpflanzung tierischer Organe (oder tierischen Nervengewebes) auf die individuelle Identität oder die Leiberfahrung des Empfängers aus? Wie ist es zu bewerten, wenn zum Zwecke der Organverwendung transgene Tiere erzeugt oder Primaten zu Forschungszwecken als Organempfänger verwendet werden?

All diese Problembereiche klammert Dahl jedoch aus. Es fehlt ein kontextbezogenes Argumentieren, Abwägen und Differenzieren, bei dem Wissenschaftsethik nicht nur als schlichte Anwendung großer Theorien auf Praxisprobleme verstanden wird, sondern auch die Wissenschaftspraxis mit ihren Tücken, ihrer Geschichte, ihrer Vernetzung von Ökonomie und Eigeninteressen mitberücksichtigt wird.

Nun ist prinzipiell nichts gegen Beschränkung auf einen Teilaspekt eines Themas einzuwenden. Allerdings hätte der Autor die Leser darauf vorbereiten sollen. „Im Schweinsgalopp durch die Tierethik" wäre vielleicht ein angemessener Titel gewesen.

Silke Schicktanz

Die Rezensentin ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Deutschen Hygiene-Museum Dresden. Sie promoviert derzeit über die wissenschaftlichen und ethischen Aspekte der Xenotransplantation an der Universität Tübingen.

Museumsbesuche der anderen Art

Wissenschafts-Museen informieren im Internet nicht nur über Öffnungszeiten, Eintrittspreise und aktuelle Sonderausstellungen. Viele Museen nutzen darüber hinaus die spezifischen Möglichkeiten des neuen Mediums und bieten Dienste an wie das effiziente Suchen in Archiven, das Abspielen von Filmbeiträgen, das interaktive Experimentieren oder den virtuellen Besuch von Ausstellungen. Sie bieten so dem Besucher ihrer Homepage eine Alternative zu einem wirklichen Besuch.

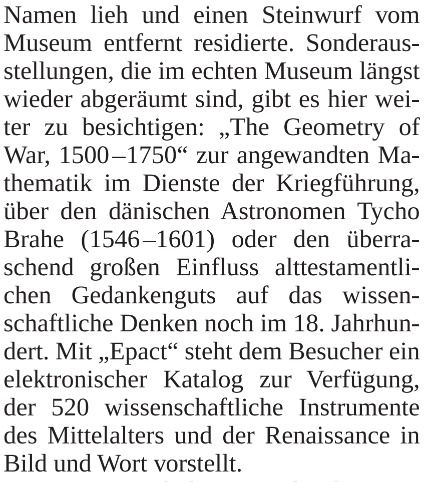
Das Deutsche Museum präsentiert sich mit einer übersichtlich gestalteten und inhaltsreichen Homepage (**www.deutsches-museum.de**). Die Urheber haben keinen Aufwand gescheut, um dem virtuellen Besucher das Museum im Herzen Münchens in seiner ganzen Größe und mit der Fülle der dort gezeigten Exponate auf den Bildschirm zu bringen. Dabei wird er nicht zum passiven Betrachter degradiert. Mehrere wissenschaftliche Experimente lassen sich – virtuell – am eigenen Computer durchführen: So kann der Besucher per Mausklick uranhaltige Gebrauchsgläser unter einer UV-Lampe zum Fluoreszieren bringen. In einem anderen Versuch erfährt man, dass der größte Teil der Strahlung einer Glühbirne für uns unsichtbar im infraroten Bereich des Spektrums liegt. Videoclips zeigen das Innenleben des Unterseeboots U1 aus dem Jahre 1906 oder Kaiser Wilhelm II., wie er am 13. November 1906 in einer Kutsche mit Prinzregent Luitpold von Bayern holpernd zur Grundsteinlegung des Deutschen Museums fährt. Mit Hilfe der Maus bestimmt der virtuelle Besucher auf Rundumaufnahmen der verschiedensten Ausstellungsräume die Blickrichtung selbst und kann so die einzelnen Exponate genauer unter die Lupe nehmen. Eine Online-Recherche erlaubt zudem eine gezielte Suche in den 120000 Titeln der hauseigenen Bibliothek und der Bayrischen Verbundsbibliothek. So macht Surfen Spaß!



DEUTSCHES MUSEUM, MÜNCHEN

Panorama-Aufnahme der Luftfahrthalle im Deutschen Museum

In einem wahren Fundus kann man auf der Homepage des Museum of the History of Science (**www.mhs.ox.ac.uk/**) wühlen. Das Museum öffnete 1683 in Oxford seine Tore und verfolgt seit mehr als dreihundert Jahren die Entwicklung der Naturwissenschaften aus nächster Nähe. Der virtuelle „Oxford Science Walk" bringt den Besucher zu einer Gedenktafel, welche den Penicillin-Entdecker Alexander Fleming und seine Mitstreiter ehrt, oder zum Wohnhaus von Edmond Halley, der dem Kometen seinen Namen lieh und einen Steinwurf vom Museum entfernt residierte. Sonderausstellungen, die im echten Museum längst wieder abgeräumt sind, gibt es hier weiter zu besichtigen: „The Geometry of War, 1500–1750" zur angewandten Mathematik im Dienste der Kriegführung, über den dänischen Astronomen Tycho Brahe (1546–1601) oder den überraschend großen Einfluss alttestamentlichen Gedankenguts auf das wissenschaftliche Denken noch im 18. Jahrhundert. Mit „Epact" steht dem Besucher ein elektronischer Katalog zur Verfügung, der 520 wissenschaftliche Instrumente des Mittelalters und der Renaissance in Bild und Wort vorstellt.



MUSEUM OF THE HISTORY OF SCIENCE, OXFORD

Armillarsphäre aus dem Jahre 1570

Den Besonderheiten und Schwierigkeiten der Nahrungsmittelgewinnung und Ernährung in den unterschiedlichen Regionen der Welt widmet sich das Agropolis-Museum im französischen Montpellier. Den Mittelpunkt der Website bildet das „Banquet de l'Humanité" (**http://museum.agropolis.fr/expositions.htm**). Die Zusammensetzung des Speiseplans von Menschen aus Entwicklungs-, Schwellen- und Industrieländern wird im Vergleich zu den durchschnittlichen Werten der westlichen Nationen grafisch leicht verständlich dargestellt. Man erfährt hier beispielsweise, dass ein Einwohner Ruandas seinen Hunger praktisch nur mit Hülsenfrüchten stillen kann und dabei knapp halb so viel Kalorien zu sich nimmt wie wir. Weiter informiert die Homepage über die Geschichte der Landwirtschaft in unseren Breitengraden und listet mehrere nützliche Links zum Thema auf.



JEAN-FRANÇOIS ROCHE / AGROPOLIS-MUSEUM, MONTPELLIER

Bankett der Menschheit im Agropolis-Museum in Montpellier

Das Cyber Museum of Neurosurgery betritt man durch die „Entrance Hall", wo man sich mit Fragen an die „Reception Desk" wenden kann. Genau wie bei einem richtigen Museum – nur existiert dieses ausschließlich im Internet (**www.neurosurgery.org/cybermuseum/**). Die American Association of Neurological Surgeons betreut diese schlicht gestaltete, aber sehr informative Website, die sich vor allem dem Begründer der modernen Gehirnchirurgie, Harvey Cushing (1869–1939), widmet. Zusätzlich finden sich Texte über verschiedene operative Techniken, Fotografien sowie eine Filmsequenz der zweitausendsten Operation von Harvey Cushing. Obwohl dieses Cyber-Museum die Möglichkeiten des Internets zu wenig nutzt, lohnt sich ein Besuch dennoch – gerade für jemanden, der sich für die Geschichte der Neurochirurgie interessiert.



AMERICAN ASSOCIATION OF NEUROLOGICAL SURGEONS

Dr. Harvey Cushing im Operationssaal

Daniel Bächtold

Der Autor ist promovierter Biologe und Wissenschaftsjournalist.

Fluxiome: fließende Muster

Ein allgemeines mathematisches Prinzip hilft biedere Schachbrett- oder Kreismuster in eindrucksvolle Grafiken zu verwandeln.

Von Alexander Koewius

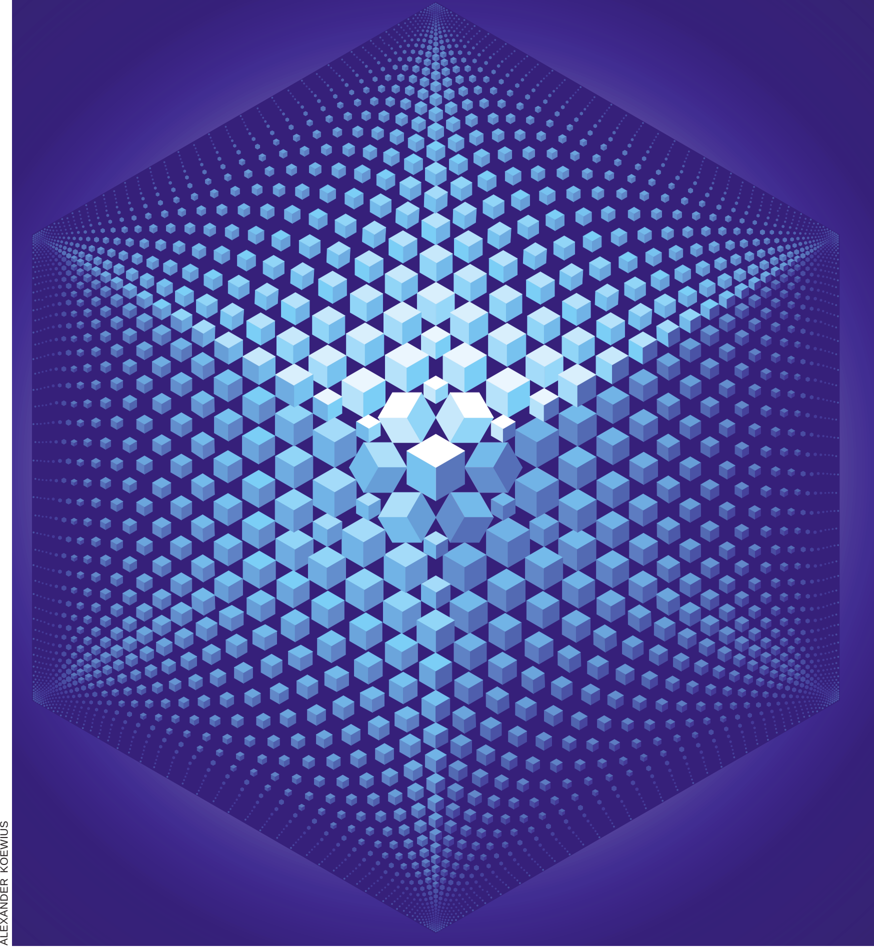
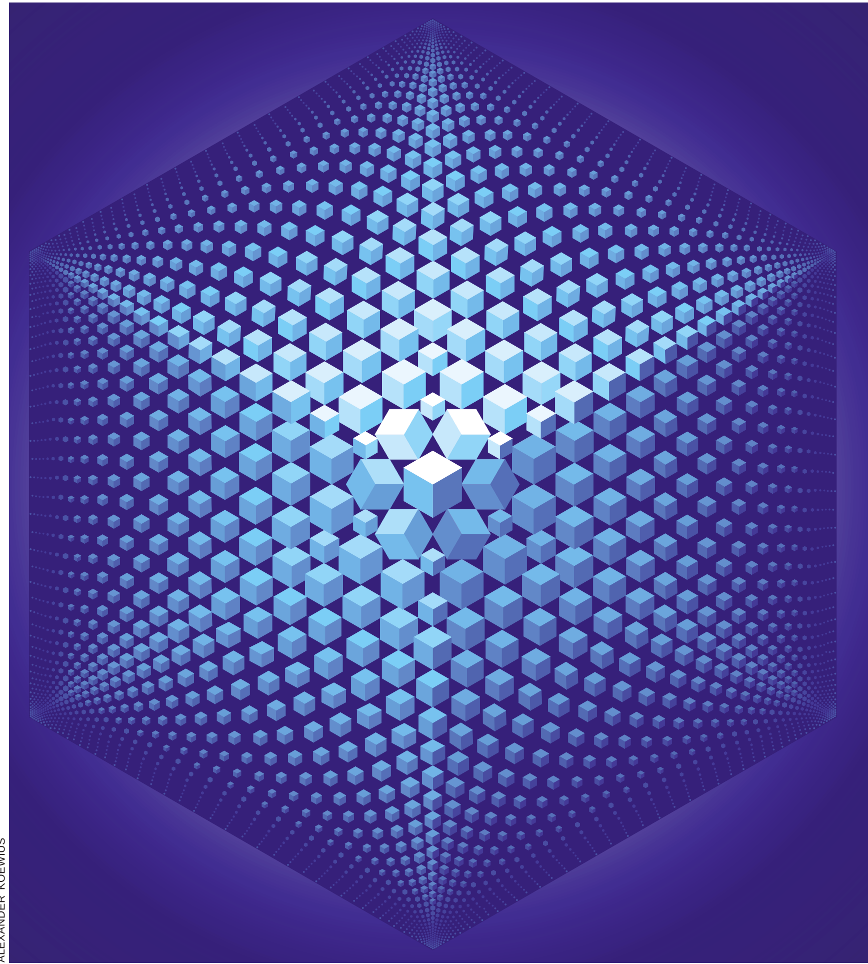
„Rosette“: Grafik auf Basis der logarithmischen Spirale. Die Musterelemente wachsen von innen nach außen jeweils um den Faktor $(\sqrt{5}+1)/2$ des Goldenen Schnitts an. Es handelt sich um eine „unmögliche Figur“: Jeder Versuch, sie räumlich zu interpretieren, ist zum Scheitern verurteilt.

ALEXANDER KOEWIUS

Flächen füllende Muster, die aus Wiederholungen eines oder weniger Musterelemente bestehen („Parkette“), sind geläufige Dekorationen, von der schlichten Badezimmerkachelung und dem Schachbrettmuster über die Blümchentapete bis hin zu den hoch entwickelten Ornamenten der islamischen Kunst. In aller Regel sind solche Parkette periodisch, das heißt, von einem Musterelement gibt es – im Prinzip – unendlich viele gleiche Exemplare, die durch Verschiebung um gewisse Vektoren aufeinander abgebildet werden.

Ich möchte Ihnen hier eine Verallgemeinerung solcher Muster vorstellen. Und zwar wird jedes der Musterelemente in Abhängigkeit von dem Ort, an dem es sich befindet, gedreht, vergrößert, verkleinert, in der Form verzerrt oder auch von seinem Standort wegbewegt. Das Ausmaß dieser Orientierungs-, Form- oder Ortsveränderung wird also durch eine Funktion des ursprünglichen Standorts beschrieben, und zwar durch eine stetige. Das bedeutet: Die einzelnen Musterelemente sind untereinander zwar nicht mehr gleich, ganz im Gegenteil. Aber Musterelemente von benachbarten Ursprungs-Standorten bleiben nicht nur benachbart, sondern sind einander auch ähnlich. Wer also auf einen kleinen Ausschnitt des Musters blickt, findet lauter einander ähnliche Elemente vor. Vielleicht erinnern sie den Betrachter sogar an das ursprüngliche Muster, das im Gesamtbild kaum noch wiederzuerkennen ist.

Die Elemente werden nicht wild durcheinander gewirbelt, sondern sie „verfließen“. Deshalb möchte ich Muster, die nach diesem Prinzip gebaut sind, „Fluxiome“ nennen. Der Name spielt auch auf „Fluxion“ an; so nannte Isaac Newton (1643–1727) das von ihm gefundene mathematische Objekt, das heute Ableitung oder Differenzialquotient einer Funktion heißt. ▶

ALEXANDER KOEWIUS

„A hexahedron is a hexagon is a hexahedron.“ Dieses Fluxiom ist aus Würfeln aufgebaut, die bis auf die künstlerisch beabsichtigte Inhomogenität im Zentrum wie auf Schnüren aufgereiht liegen; das Größenverhältnis zweier benachbarter Würfel ist konstant, einerlei, wo auf der Schnur sich die Würfel befinden. Wegen der Konvergenz der geometrischen Reihe enden alle Schnüre am sechseckigen „Horizont“, obgleich auf jeder Schnur unendlich viele Würfel Platz finden.

Erzeugungsprinzipien für Fließmuster

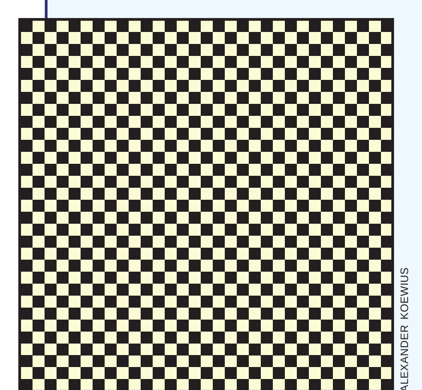
Die logarithmische Spirale


MARGRET NEUBAUER

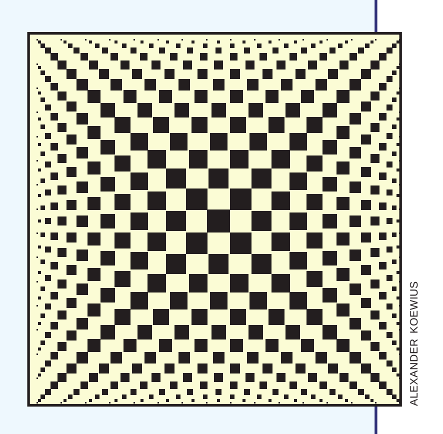
Das Musterelement des römischen Fußbodenmosaiks (rechts), das im archäologischen Museum in Sousse (Tunesien) zu besichtigen ist, wird begrenzt von zwei Geraden, die sich unter dem Winkel φ im Mittelpunkt des Musters schneiden, sowie von zwei Kreisbögen, die ihren Mittelpunkt auf der einen Geraden haben und die andere berühren (links). Der äußere Kreisbogen ist eine gespiegelte und vergrößerte Version des inneren. Damit die beiden Bögen sich nicht schneiden, darf der Vergrößerungsfaktor $v=a'/a$ den Wert $1+\sin\varphi$ nicht unterschreiten. Eine geringfügige Überschreitung erzeugt einen kurzen geraden Abschnitt b zwischen den Kreisbögen. So wie die Musterelemente konstruiert sind, passen sie gespiegelt und um den Faktor v vergrößert genau aneinander und füllen den Keil zwischen den beiden Geraden aus. Gedrehte Versionen des Keils füllen die ganze Ebene (ein ganzzahliges Vielfaches von φ muss gleich 360 Grad sein). Dadurch, dass um φ gedrehte und um den Faktor v vergrößerte Musterelemente jeweils gleich gefärbt sind, springen logarithmische Spiralen dem Betrachter ins Auge (rechts unten). (Bei einer logarithmischen Spirale hängt der Abstand r eines Punktes vom Ursprung von seinem Winkel φ gegen die positive x-Achse nach der Formel $r=a\exp(b\varphi)$ ab.)

SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT

Quadrate als Musterelemente


ALEXANDER KOEWIUS

Aus einem gewöhnlichen Schachbrettmuster (links) entsteht eines, das einen kissenförmig aufgeblasenen Eindruck erweckt (rechts). Die Größe der Quadrate wird von innen nach außen in gleichmäßigen Schritten bis auf null verkleinert. Im Detail kann man sich die Konstruktion so vorstellen: Von einem Zentralquadrat aus werden in den vier Diagonalenrichtungen immer kleinere Quadrate – Ecke an Ecke – aneinandergesetzt. Quadrate gleicher Größe kann man durch horizontale und vertikale Strecken miteinander verbinden. Entlang dieser Verbindungsstrecken wird das Muster nun mit der richtigen Anzahl Quadrate derselben Größe aufgefüllt. Die dabei entstehenden Lücken sind größer als die Quadrate selbst; dieser Effekt ist umso stärker, je weiter man nach außen kommt.

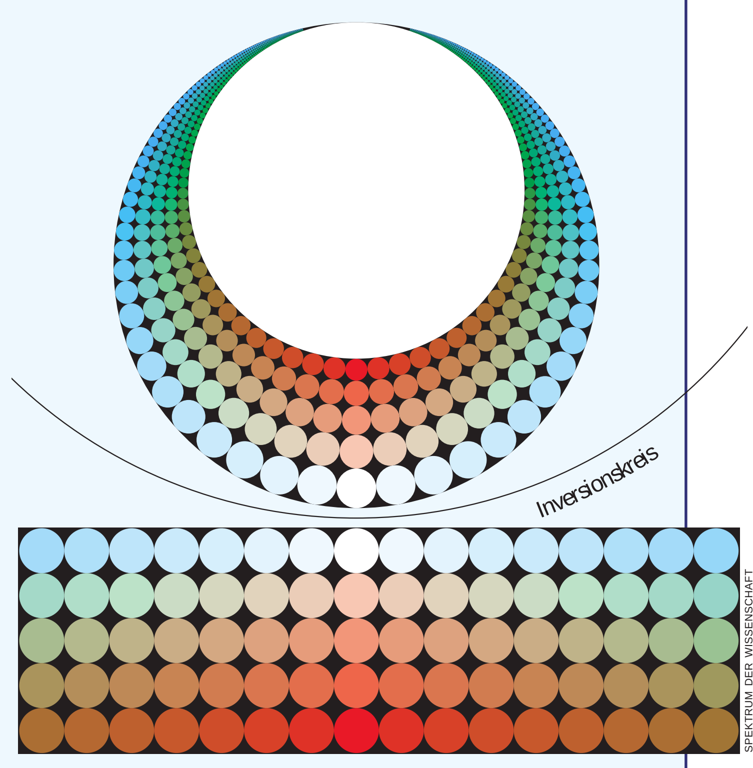

ALEXANDER KOEWIUS

Inversion am Kreis

Wie fügt man eine Schar von Kreisen in die „Sichel" zwischen zwei Kreisen, deren kleinerer den größeren von innen berührt? Man verwende die Inversion am Kreis. Diese Transformation macht aus einem Punkt x den Punkt x', der vom Nullpunkt des Koordinatensystems aus gesehen in derselben Richtung liegt wie x, aber in der Entfernung $1/|x|$; dabei ist $|x|$ die Entfernung zwischen x und dem Nullpunkt. In unserem Fall ist der Nullpunkt des Koordinatensystems der Berührpunkt der beiden ursprünglichen Kreise. Die Inversion am Kreis ist ihre eigene Umkehrabbildung: Wendet man sie zwei Mal hintereinander auf einen Punkt an, so erhält man diesen Punkt zurück.

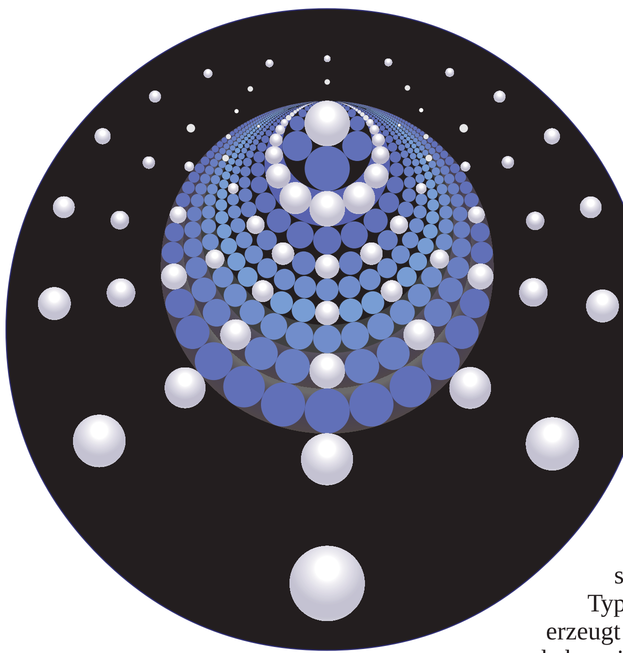
Eine Inversion am Kreis verwandelt Kreise und Geraden in Kreise und Geraden, und zwar: Kreise, die nicht durch den Nullpunkt gehen, in – im Allgemeinen andere – Kreise, die nicht durch den Nullpunkt gehen; Kreise, die durch den Nullpunkt gehen, in Geraden, die nicht durch den Nullpunkt gehen, und umgekehrt; Geraden, die durch den Nullpunkt gehen, in sich selbst. Insbesondere werden die beiden ursprünglichen Kreise in zwei parallele Geraden verwandelt. Zwischen diese lässt sich mit leichter Mühe eine Schar von Kreisen fügen (die dann alle gleich groß sind). Diese werden durch eine weitere Inversion am Kreis zu der gesuchten Schar von Kreisen in der Sichel.

Das Spiel lässt sich fortsetzen: Weitere Scharen gleich großer Kreise zwischen unten angefügten Parallelen füllen weitere Sicheln, die in die ursprüngliche Sichel geschachtelt sind.



SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT

„Strings of Pearls" (unten) und „Perlenketten" (rechts). Die Fläche des „allumfassenden" Kreises ist in sichelförmige, im obersten Punkt des großen Kreises zusammenlaufende Bereiche aufgeteilt. Jede Sichel ist von – theoretisch – unendlich vielen, einander berührenden Kreisen aufgefüllt. Das Ganze vermittelt den Eindruck ineinander gelegter Perlenketten.



Das Konzept des Fluxioms umfasst sehr viele Mustertypen. Manche antiken Mosaiken lassen sich ohne weiteres als Fluxiome verstehen (Kasten Seite 115 oben). In neuerer Zeit hat vor allem Victor Vasarely die stetige Abwandlung der bekannten Rauten-Vexiermuster zum Thema zahlreicher Werke gemacht.

Indem die Veränderungen des Musters durch stetige Funktionen ausgedrückt werden, eröffnet sich die Möglichkeit zur systematischen Erforschung der künstlerischen Möglichkeiten: Welcher Typ von Deformations-Funktion erzeugt welchen Mustertyp? Ich selbst habe mich bisher im Wesentlichen auf drei Prinzipien konzentriert:

➤ Die Größe eines Musterelements ist proportional seinem Abstand von einem Zentralpunkt und seine Orientierung so, dass ein Musterelement durch Drehung mit einem gewissen Winkel um den Zentralpunkt wieder in ein Musterelement übergeht. Dann fügen sich Musterelemente zu logarithmischen Spiralen (Bild Seite 114 oben).

➤ Das Musterelement ist ein einfaches Vieleck, typischerweise ein Quadrat, oder eine einfache räumliche Struktur, etwa ein Würfel. Bereits Variationen von Größe, Form und Orientierung erzeugen interessante Effekte; durch zusätzliche Änderung des Standorts ergeben sich räumliche Eindrücke (siehe Bild Seite 114 unten).

➤ Das Musterelement ist ein Kreis, und die Kunst besteht darin, neue Kreise präzise in die Lücken zwischen bereits vorhandenen Kreisen einzupassen. Zur Berechnung leistet die mathematische Operation „Inversion am Kreis" große Hilfe (Bilder oben).

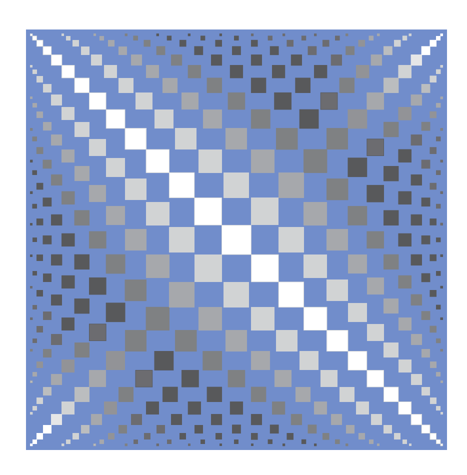
In allen Fällen ist die vom Rechner gelieferte, „scherenschnitt- oder umrissartig reine" Mustergeometrie nur ein erster Schritt. Farben wie Grautöne beleben nicht nur das Bild, sondern schaffen darüber hinaus zusätzliche Strukturen (Bilder links).

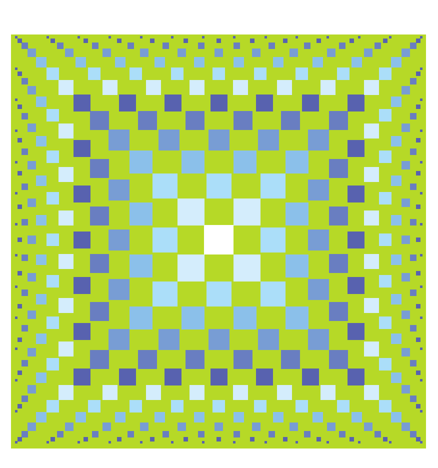
Weitere Bilder sind unter www.koewius.de zu besichtigen. ■



***Dr.-Ing. Alexander Koewius** wohnt in Ratingen bei Düsseldorf. Während seiner Tätigkeit als Entwicklungs- und Beratungsingenieur war er an vielen Projekten der Luftfahrt-, Fahrzeug- und Raumfahrtindustrie beteiligt. Vor allem seit seiner Pensionierung widmet er sich dem geometrischen Ornament als spezieller Kunstform.*

Unterschiedliche Einfärbungen des Kissen-Schachbrettmusters heben verschiedene Strukturen hervor.





Die Digitalkamera

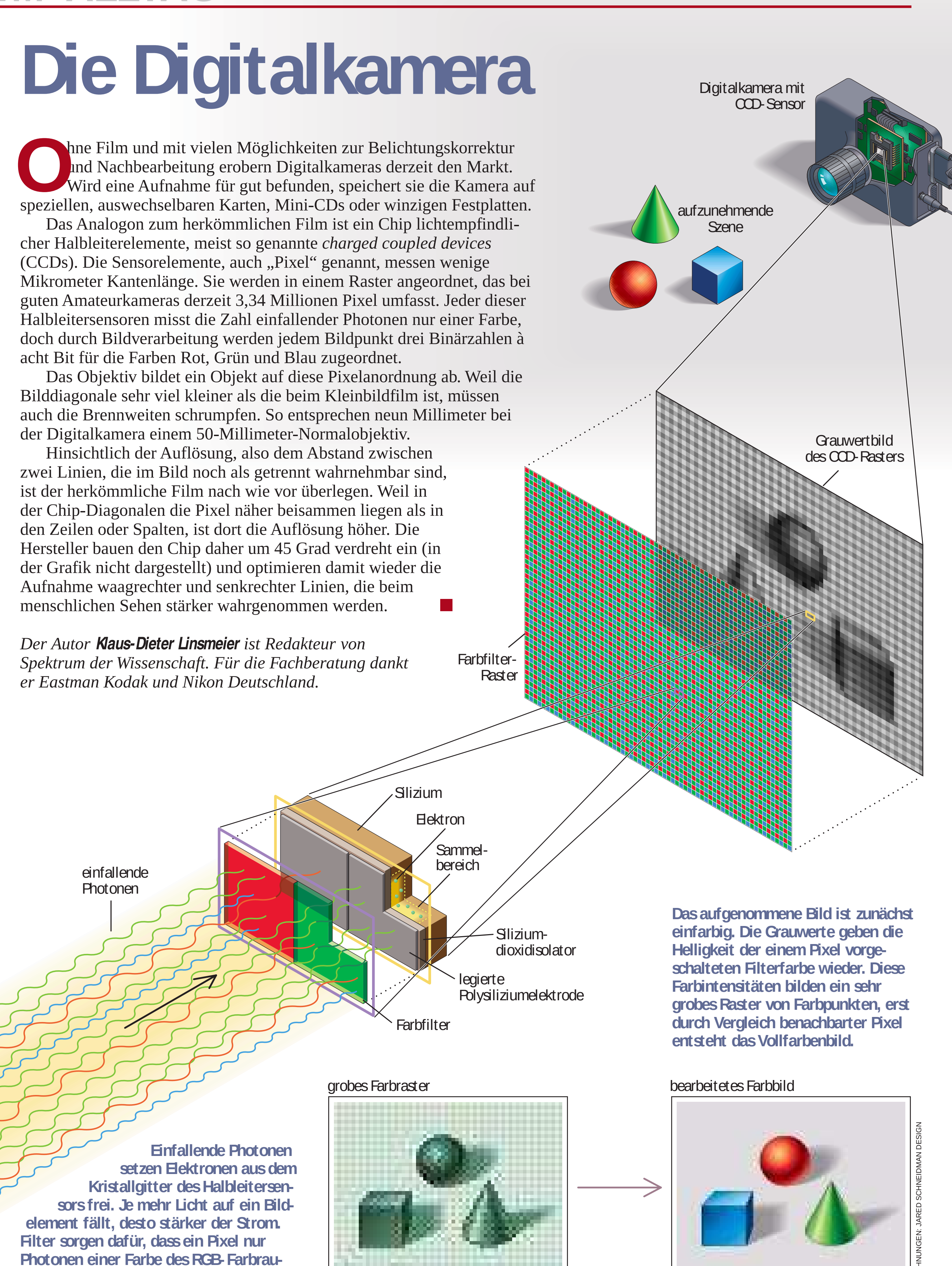
Ohne Film und mit vielen Möglichkeiten zur Belichtungskorrektur und Nachbearbeitung erobern Digitalkameras derzeit den Markt. Wird eine Aufnahme für gut befunden, speichert sie die Kamera auf speziellen, auswechselbaren Karten, Mini-CDs oder winzigen Festplatten.

Das Analogon zum herkömmlichen Film ist ein Chip lichtempfindlicher Halbleiterelemente, meist so genannte *charged coupled devices* (CCDs). Die Sensorelemente, auch „Pixel" genannt, messen wenige Mikrometer Kantenlänge. Sie werden in einem Raster angeordnet, das bei guten Amateurkameras derzeit 3,34 Millionen Pixel umfasst. Jeder dieser Halbleitersensoren misst die Zahl einfallender Photonen nur einer Farbe, doch durch Bildverarbeitung werden jedem Bildpunkt drei Binärzahlen à acht Bit für die Farben Rot, Grün und Blau zugeordnet.

Das Objektiv bildet ein Objekt auf diese Pixelanordnung ab. Weil die Bilddiagonale sehr viel kleiner als die beim Kleinbildfilm ist, müssen auch die Brennweiten schrumpfen. So entsprechen neun Millimeter bei der Digitalkamera einem 50-Millimeter-Normalobjektiv.

Hinsichtlich der Auflösung, also dem Abstand zwischen zwei Linien, die im Bild noch als getrennt wahrnehmbar sind, ist der herkömmliche Film nach wie vor überlegen. Weil in der Chip-Diagonalen die Pixel näher beisammen liegen als in den Zeilen oder Spalten, ist dort die Auflösung höher. Die Hersteller bauen den Chip daher um 45 Grad verdreht ein (in der Grafik nicht dargestellt) und optimieren damit wieder die Aufnahme waagrechter und senkrechter Linien, die beim menschlichen Sehen stärker wahrgenommen werden. ■

Der Autor **Klaus-Dieter Linsmeier** *ist Redakteur von Spektrum der Wissenschaft. Für die Fachberatung dankt er Eastman Kodak und Nikon Deutschland.*



Das aufgenommene Bild ist zunächst einfarbig. Die Grauwerte geben die Helligkeit der einem Pixel vorgeschalteten Filterfarbe wieder. Diese Farbintensitäten bilden ein sehr grobes Raster von Farbpunkten, erst durch Vergleich benachbarter Pixel entsteht das Vollfarbenbild.

Einfallende Photonen setzen Elektronen aus dem Kristallgitter des Halbleitersensors frei. Je mehr Licht auf ein Bildelement fällt, desto stärker der Strom. Filter sorgen dafür, dass ein Pixel nur Photonen einer Farbe des RGB-Farbraumes (Rot, Grün, Blau) misst.

Spektrum-Report „Wasserversorgung“

Wasser ist eine der häufigsten Substanzen der Welt. Ob zum Trinken, zur Stromerzeugung oder zum Bewässern der Felder: Wir nutzen es reichlich. Doch in einigen Regionen wird diese wertvolle Ressource knapp. Statt immer neue Quellen zu erschließen, sucht man vorhandene effektiver zu nutzen. Doch oft sind die erforderlichen Techniken teurer als herkömmliche.



Die Kunst der Überzeugung

Nicht nur Werbefachleute interessiert, wie in Menschen Interessen und Bedürfnisse geweckt werden. Auch Politiker müssen verstehen, aus welchen Gründen wir unsere Einstellungen ändern. Sozialpsychologen untersuchen seit Jahrzehnten die Mechanismen des Überzeugens.

Weitere Themen im August

Mein Computer versteht mich

Heute noch nicht; aber in wenigen Jahren könnten Webseiten so organisiert sein, dass ein Programm ihnen automatisch die richtigen Informationen entnimmt und im Interesse des Nutzers verknüpft.

Die kosmologische Alterskrise

Noch vor Jahren schienen manche Sterne älter zu sein als das Universum – ein Paradox. Denn Kinder können nicht älter sein als ihre Eltern. Dieses Rätsel konnten die Astronomen inzwischen lösen: Die ältesten Sterne sind etwas jünger und das Weltall ist älter als bislang gedacht.

Mumien-Präparation im alten Ägypten

Moderne Analyse-Verfahren helfen klären, wie die alten Ägypter ihre Toten einbalsamierten.





Duft bei dicker Luft – Pflanzen in der Klimakammer

Wenn Kiefern duften, senden sie in Wahrheit ein Stress-Signal. Versuche unter kontrollierten Bedingungen in der Klimakammer enthüllen eine faszinierende Wechselbeziehung zwischen Pflanzen und Luftschadstoffen.

Superschnelle Torpedos

Neue Unterwasser-Waffen erreichen ungeahnte Geschwindigkeiten, indem sie sich in eine selbsterzeugte Gasblase hüllen.